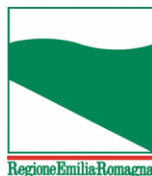




PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile



CONFERENZA DELLE REGIONI E
DELLE PROVINCE AUTONOME

Attuazione dell'articolo 11 dalla legge 24 giugno 2009, n.77

MICROZONAZIONE SISMICA

Livello 2

Regione Emilia–Romagna
Comune di Anzola dell'Emilia



Relazione illustrativa

Regione	Soggetto realizzatore	Data
Emilia–Romagna	Studio di geologia Gabriele Tarabusi	15/12/2014

Coordinamento dello studio di
Microzonazione Sismica: dott. geol. Gabriele Tarabusi

Redazione della relazione: dott. geol. Gabriele Tarabusi
dott. geol. Ruggero Mazzoni

Creazione geodatabase dei dati
geologici e geotecnici: dott. geol. Gabriele Tarabusi
dott.ssa Sofia Gamberi

Elaborazione tavole cartografiche: dott. geol. Gabriele Tarabusi
dott.ssa Sofia Gamberi

Esecuzione ed elaborazione misure
di microtremore a stazione singola: dott. geol. Gabriele Tarabusi
dott.ssa Sofia Gamberi

Esecuzione ed elaborazione prove
penetrometriche statiche (CPTU): dott. geol. Leonardo Calzolari

Esecuzione ed elaborazione
indagini MASW e ESAC: Progeo s.r.l. – Forlì

INDICE

1	INTRODUZIONE	1
1.1	Criteri di realizzazione dello studio e riferimenti normativi	1
1.2	Lo studio di microzonazione sismica	1
1.3	Elaborati prodotti	2
2	DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO	4
2.1	Sismicità storica	5
2.2	La sequenza del maggio 2012	8
2.3	Sorgenti sismogenetiche	9
3	ASSETTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO	11
3.1	Inquadramento geologico-strutturale	11
3.2	Inquadramento geologico	13
3.3	Paleogeografia e inquadramento geomorfologico-litologico	16
3.4	Subsidenza	17
3.5	Idrogeologia	20
4	DATI GEOTECNICI E GEOFISICI	22
4.1	Indagini di repertorio	22
4.2	Indagini eseguite per la microzonazione sismica	23
4.2.1	Prove penetrometriche statiche (CPTU)	24
4.2.2	Multi-channel Analysis of Surface Waves (MASW)	26
4.2.3	Extended Spatial AutoCorrelation (ESAC)	27
4.2.4	Misure di microtremore a stazione singola (HVSr)	28
5	MODELLO DEL SOTTOSUOLO	31
5.1	Area Capoluogo e Lavino di Mezzo	32
5.2	Palazzina di sopra	32
5.3	Area Ex Euroceramica	33
5.4	Ponte Samoggia	33
5.5	Santa Maria in Strada	34
5.6	San Giacomo del Martignone	34
6	INTERPRETAZIONI ED INCERTEZZE	35
6.1	Substrato rigido	35
6.2	Distribuzione dei livelli limo-sabbiosi	35
6.3	Determinazione della velocità delle onde di taglio (Vs)	36
6.4	Piezometria	37
7	METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI	38
7.1	Zone suscettibili di amplificazioni locali - Calcolo dei fattori di amplificazione	38
7.2	Verifiche del potenziale di liquefazione	39
7.2.1	Stima della magnitudo attesa	39
7.2.2	Calcolo dell'accelerazione al suolo	40

MICROZONAZIONE SISMICA DEL COMUNE DI ANZOLA DELL'EMILIA

7.2.3	Verifiche con i metodi semplificati	41
7.2.4	Considerazioni conclusive sul calcolo del potenziale di liquefazione	43
7.3	Identificazione delle zone di attenzione per liquefazioni.....	43
8	ELABORATI CARTOGRAFICI	45
8.1	Carta delle indagini (tavola 1)	45
8.2	Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica (tavola 2).....	45
8.2.1	Terreni di copertura	46
8.2.2	Elementi geologici	46
8.3	Carta delle frequenze naturali dei terreni (tavola 3).....	47
8.4	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (tavola 4)	47
8.5	Carta delle velocità delle onde di taglio S (tavola 5).....	49
8.6	Carte di microzonazione sismica (tavole 6, 7 e 8).....	49
9	COMMENTI FINALI E CRITICITÀ	50
10	BIBLIOGRAFIA.....	52

1 INTRODUZIONE

1.1 Criteri di realizzazione dello studio e riferimenti normativi

Il presente studio di Microzonazione Sismica di secondo livello del comune di Anzola dell'Emilia, in Provincia di Bologna, è stato redatto sulla base delle indicazioni contenute nella Delibera n.1919/2013 (Regione Emilia-Romagna, 2013) della Giunta della Regione dell'Emilia-Romagna dal titolo "Approvazione dei criteri per gli studi di microzonazione sismica ed assegnazione dei contributi di cui all'ordinanza del Capo Dipartimento della Protezione Civile 52/13 a favore degli Enti locali". Il Comune di Anzola dell'Emilia è infatti risultato assegnatario di tali contributi.

Per quanto non specificato nel suddetto documento, i riferimenti tecnici per la realizzazione dello studio e per l'elaborazione e la redazione delle tavole cartografiche sono rappresentati dai seguenti testi:

- "Microzonazione sismica - Standard di rappresentazione e archiviazione informatica versione 3.0", redatto dalla Commissione tecnica per la microzonazione sismica (Commissione tecnica per la microzonazione sismica, 2013), da qui in avanti "Standard MS 3.0";

- "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica", approvato dal Dipartimento della Protezione Civile e dalla Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome (Gruppo di lavoro MS, 2008) e successive modifiche e integrazioni (AA.VV., 2011), da qui in avanti "ICMS".

Nella redazione dello studio ci si è inoltre riferiti alle seguenti normative:

- Delibera Assemblea Legislativa (DAL) n. 112/2007 Art. 16 c.1 "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica" (Regione Emilia-Romagna, 2007);
- Variante al PTCP della Provincia di Bologna in materia di rischio sismico, adottata dal Consiglio Provinciale il 14/1/2013 (Provincia di Bologna, 2013);
- L.R. 30/10/2008 n.19 "Norme per la riduzione del Rischio Sismico";
- D.M. del 14/01/2008 "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni".

1.2 Lo studio di microzonazione sismica

Scopo della microzonazione sismica è la suddivisione dettagliata del territorio in base al comportamento dei terreni durante un evento sismico e ai possibili effetti indotti dallo scuotimento. Essa rappresenta uno strumento di prevenzione e riduzione del rischio sismico particolarmente efficace se realizzato e applicato già in fase di pianificazione urbanistica.

Costituisce quindi un supporto fondamentale agli strumenti di pianificazione comunale per indirizzare le scelte urbanistiche verso aree a minore pericolosità sismica.

Per ottimizzare costi e tempi la microzonazione sismica è attualmente richiesta nelle aree urbanizzate, in quelle suscettibili di trasformazioni urbanistiche e lungo le fasce a cavallo delle reti infrastrutturali (Regione Emilia-Romagna, 2013).

Le aree urbanizzate in cui realizzare la microzonazione sismica sono state indicate dal Servizio Urbanistica del Comune di Anzola dell'Emilia, che ha identificato anche le zone suscettibili di trasformazioni urbanistiche.

1.3 Elaborati prodotti

I documenti di riferimento e sintesi del presente studio sono costituiti dalle tavole cartografiche (corredate da 4 sezioni geologiche) e dai dati informatizzati ad esse associati. La presente relazione, oltre a caratterizzare e inquadrare il territorio comunale nel contesto geologico e sismotettonico regionale, descrive le metodologie seguite e illustra i risultati dello studio di microzonazione rappresentati nelle diverse cartografie.

Gli elaborati dello studio di microzonazione sismica sono i seguenti:

- la presente relazione;
- le 8 tavole cartografiche (illustrate al capitolo 8) ed elencate in tabella 1;
- le 4 sezioni geologiche (allegato 1);
- i rapporti delle indagini di nuova esecuzione (allegato 2);
- i rapporti di calcolo per la stima degli indici di liquefazione sulle verticali delle prove penetrometriche statiche (allegato 3);
- gli archivi informatizzati dei dati.

Elaborato cartografico	Tavola/e di riferimento	Scala di rappresentazione
Carta delle indagini	Tavola 1	1:10.000
Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica	Tavola 2	1:5.000
Carta delle frequenze naturali dei terreni	Tavola 3	1:10.000
Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (livello 1)	Tavola 4	1:5.000
Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs)	Tavola 5	1:10.000
Carta di microzonazione sismica (livello 2) - FA_{PGA}	Tavola 6	1:5.000
Carta di microzonazione sismica (livello 2) - $FA_{0,1-0,5s}$	Tavola 7	1:5.000
Carta di microzonazione sismica (livello 2) - $FA_{0,5-1,0s}$	Tavola 8	1:5.000

Tabella 1. Elaborati cartografici redatti per lo studio di microzonazione sismica.

Tutti gli elaborati sono stati realizzati secondo le specifiche indicate, per il primo, il secondo e il terzo livello di approfondimento, nella Delibera n.1919/2013 (Regione Emilia-Romagna, 2013). Tali specifiche rimandano sostanzialmente alle linee guida emanate dal Dipartimento della Protezione Civile con gli Standard MS 3.0 (Commissione tecnica per la microzonazione sismica, 2013), che dettagliano ogni aspetto legato a tali studi, integrandoli con la richiesta di alcuni specifici elaborati aggiuntivi, come specificato al

capitolo 8. Si segnala a questo proposito che l'obbligo di attenersi in modo rigoroso ai suddetti standard di rappresentazione, ha vincolato il presente studio sia a livello di articolazione delle tavole (numero e tipologia) e della relazione (titoli e ordine dei capitoli), che a livello di rappresentazione cartografica (tematismi rappresentati, legende e denominazioni, ma anche layout, colori e font dei caratteri) e di contenuti descrittivi.

2 DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO

La sismicità di un territorio è strettamente connessa al suo contesto tettonico-strutturale, dunque alla presenza di strutture geologicamente “attive”. Alla base di ogni stima della pericolosità sismica di un territorio vi è quindi l’indispensabile conoscenza della sua storia sismica (cioè di tutte le informazioni sui terremoti avvenuti nel passato) e della geologia strutturale locale, fattori strettamente connessi tra loro.

Per realizzare l’inquadramento sismotettonico della presente relazione sono stati utilizzati database pubblici sviluppati da diversi enti e gruppi di ricerca:

- il CPTI11 - Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani versione 2011 (Rovida et al., 2011) (<http://emidius.mi.ingv.it/CPTI11/>), che raccoglie i parametri dei terremoti storici noti avvenuti in Italia fino al 2011;
- il DBMI11 - Database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPTI11 (Locati et al., 2011) (<http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11/>) e la sua precedente versione DBMI04 (Stucchi et al., 2007);
- il CFTI4Med - Catalogo dei Forti Terremoti in Italia e in area mediterranea (Guidoboni et al., 2007) (<http://storing.ingv.it/cfti4med/>), che riporta per numerose località i risentimenti di circa 300 tra i terremoti storici più forti avvenuti sul territorio italiano, e fornisce anche informazioni sul contesto storico, sociale e demografico in cui gli eventi si sono prodotti, sui parametri epicentrali, sugli effetti dei terremoti sull’ambiente fisico (fagliazione superficiale, frane sismo-indotte, maremoti, ecc.), sul danneggiamento dei centri storici e di beni monumentali;
- la Mappa di Pericolosità Sismica Nazionale (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, 2004) (<http://esse1.mi.ingv.it/>) che definisce una “pericolosità di base” su un reticolo di punti di riferimento. Ai punti del reticolo sono attribuiti, per nove differenti periodi di ritorno del terremoto atteso, i valori di a_g (accelerazione orizzontale massima del suolo) e dei principali “parametri spettrali” riferiti all’accelerazione orizzontale, da utilizzare per il calcolo dell’azione sismica;
- la Zonazione Sismogenetica ZS9 (Meletti e Valensise, 2004) (<http://zonesismiche.mi.ingv.it/documenti/App2.pdf>), che individua sul territorio italiano 42 macrozone-sorgente e ha rappresentato il riferimento per i calcoli di pericolosità sismica del territorio nazionale di cui al punto precedente;
- il Database delle Sorgenti Sismogenetiche Italiane DISS versione 3.1.1 (DISS Working Group, 2010) (Basili et al., 2008) (<http://diss.rm.ingv.it>), che contiene sorgenti individuali e composite di terremoti, intese come una rappresentazione georeferenziata semplificata e in 3D di faglie (sorgenti individuali) o regioni contenenti faglie (sorgenti composite) in grado di generare terremoti di M 5.5 o superiore;
- il Catalogo della Sismicità Italiana (Castello et al., 2006) (<http://csi.rm.ingv.it/>) che raccoglie tutti gli eventi registrati dalle stazioni della Rete Sismica Nazionale dal 1981 al 2002;

MICROZONAZIONE SISMICA DEL COMUNE DI ANZOLA DELL'EMILIA

- il Database ISIDe (ISIDe Working Group, 2010) (<http://iside.rm.ingv.it>), che raccoglie tutti gli eventi registrati dalle stazioni della Rete Sismica Nazionale dal 2003 ad oggi.

2.1 Sismicità storica

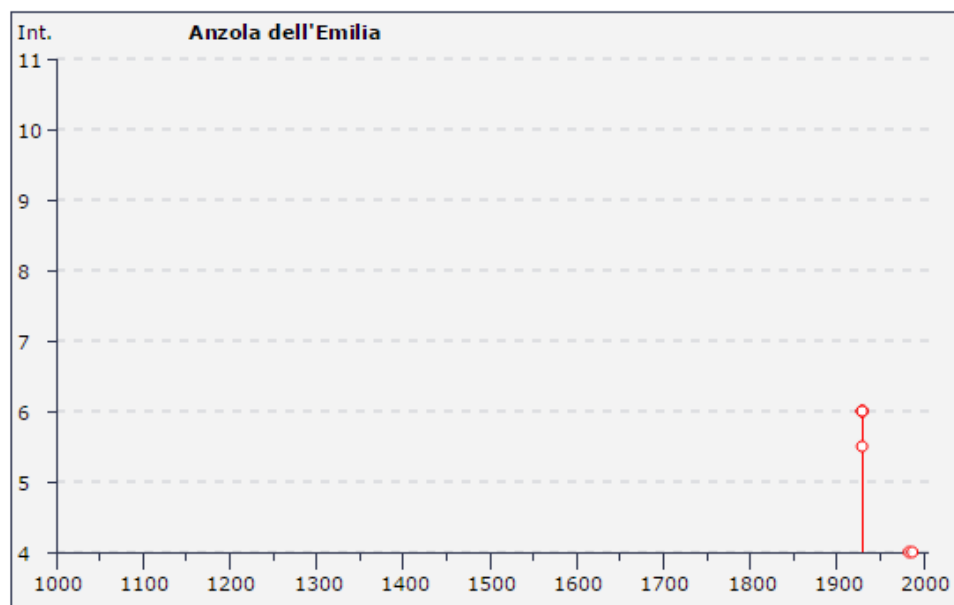
Il DBMI11 (Locati et al., 2011) riporta 12 osservazioni per Anzola dell'Emilia, di cui le uniche che raggiungono il grado VI della scala MCS (soglia di danno) sono quelle relative alla sequenza sismica del 1929 (figura 1).

Storia sismica di Anzola dell'Emilia [44.545, 11.196]



Numero di eventi: 12

Effetti	In occasione del terremoto del:			
I [MCS]	Data	Ax	Np	Io Mw
6	1929 04 10 05:43	Bolognese	87	7 5.03 ±0.13
6	1929 04 19 04:15	Bolognese	82	
6	1929 04 22 08:25	Bolognese	41	
6	1929 04 28 19:39	Bolognese	20	
5-6	1929 05 11 19:22	Bolognese	64	
4	1983 11 09 16:29	Farmense	850	6-7 5.06 ±0.09
4	1987 05 02 20:43	Reggiano	802	6 4.74 ±0.09
3-4	1992 04 17 11:59	Montevoglio	56	4-5 4.32 ±0.18
3	1931 06 10 17:01	Modenese	14	4 4.42 ±0.22
NF	1892 08 09 07:58	Valle d'Alpone	160	6-7 4.91 ±0.11
NF	1986 12 06 17:07	BONDENO	604	6 4.61 ±0.10
NF	2000 06 18 07:42	Farmense	300	5-6 4.43 ±0.09



[download]

Figura 1. Storia sismica di Anzola dell'Emilia

Viene di seguito riportata la sintesi degli effetti ad Anzola dell'Emilia per la sequenza sismica del 1929 presente nel catalogo CFTI4Med (Guidoboni et al., 2007):

Il comune aveva una popolazione di 5512 abitanti (dati del censimento ISTAT del 1931).

La scossa del 10 aprile delle ore 5:43 GMT ebbe una durata di 7 secondi e fu preceduta da rombo: fece cadere qualche comignolo e causò l'apertura di leggere fenditure nelle case meno solide.

La scossa delle ore 4:15 GMT del 19 aprile causò la caduta di numerosi comignoli e alcune lesioni in vecchi edifici. La durata e l'intensità della scossa allarmarono particolarmente la popolazione.

La scossa del 22 aprile delle ore 8:26 GMT causò ulteriori danni e panico tra la popolazione; alcune case risultarono fortemente lesionate e furono fatte sgomberare. Per l'alloggio dei senzatetto alle autorità comunali furono consegnate 53 tende.

La mancanza di risentimenti precedenti il XX secolo evidenzia come tale storia sismica (figura 1) risulti incompleta in ragione della mancanza o del non reperimento di fonti storiche relative all'area di Anzola dell'Emilia. Per un quadro di riferimento degli effetti dei terremoti storici è comunque possibile riferirsi a quanto disponibile per le località più vicine.

Il terremoto più forte e più prossimo all'area in esame, secondo quanto riportato nel CPTI11 (Rovida et al., 2011), che cita come fonte il CFTI4Med (Guidoboni et al., 2007), risulta essere quello del 3 gennaio 1505, il secondo di una sequenza con 3 scosse principali, con intensità epicentrale valutata del grado VIII della scala MCS e magnitudo equivalente pari a 5.6. In figura 2 è rappresentata la mappa degli effetti del terremoto dai dati CFTI4Med in rapporto al perimetro comunale di Anzola dell'Emilia, che si colloca in un'area con effetti compresi tra i gradi VII e VIII della scala MCS.

Per la sequenza sismica del 1504-1505, il catalogo CFTI4Med riporta la seguente sintesi degli effetti principali:

Questa sequenza sismica cominciò il 31 dicembre 1504 e si protrasse per quasi cinque mesi, fino a oltre la metà di maggio 1505. Interessò soprattutto Bologna e la vicina area pedeappenninica dove i danni furono rilevanti.

Le scosse più forti furono tre: la prima avvenne il 31 dicembre 1504 alle ore 4:00 GMT circa (le 11 e mezza in orario "all'italiana"). A Bologna la scossa fece cadere numerosi comignoli e causò lesioni nelle volte di vari edifici, fra cui la chiesa di S.Francesco; la chiesa di S.Giacomo subì danni anche alla facciata. A Modena fu molto forte e fece cadere qualche comignolo.

La scossa più forte della sequenza avvenne il 3 gennaio 1505 alle ore 2:00 GMT circa (le 9 e mezza in orario "all'italiana"). A Bologna ci furono gravi danni alle abitazioni e agli edifici pubblici, civili e religiosi. Le case crollate totalmente furono poche, ma molte abitazioni subirono danni diffusi. La parte dell'area urbana più colpita fu quella verso la pianura, compresa tra porta S.Donato e porta S.Isaia. Risultarono danneggiati soprattutto gli edifici "a volta" (come le chiese e i palazzi), e la parte più alta di numerose torri, tanto che alcune dovettero essere abbattute o abbassate per evitarne il crollo sugli edifici vicini. Nel palazzo Bentivoglio, uno dei più danneggiati, crollarono la facciata, la sala grande, cinque volte del portico e il "torresino" della vicina torre collegata al palazzo; varie stanze risultarono inoltre lesionate e tutto l'edificio sconnesso e indebolito. Più in ombra, dal punto di vista degli effetti, rimane l'area extraurbana, a cui le fonti dedicano scarsa attenzione: a Confortino, Bentivoglio e Rigosa subirono gravi danni gli edifici di proprietà della famiglia Bentivoglio; a San Lorenzo in Collina e Zola Predosa il terremoto causò

MICROZONAZIONE SISMICA DEL COMUNE DI ANZOLA DELL'EMILIA

lesioni nelle case e il crollo di colombaie. Ci furono danni leggeri a Ferrara, Modena, Reggio nell'Emilia. La scossa fu sentita a Firenze, Forlì, Venezia, Verona, Vicenza, e in molte altre località. Un'altra scossa molto forte avvenne il 20 gennaio, alle ore 23:50 GMT circa (le 7 della notte in orario "all'italiana"). A Bologna si aggravarono i danni alle volte di alcuni edifici, fra cui la cattedrale di S.Pietro, le chiese di S.Petronio e S.Martino, la torre del palazzo del Podestà e l'ospedale di S.Maria della Vita. Questa scossa fu sentita in un'area estesa da Forlì e Faenza, a Venezia e Verona.

Alla località "Confortino", toponimo oggi in comune di Crespellano, ma molto prossimo al confine con quello di Anzola dell'Emilia è stato attribuito un grado VIII della scala MCS (figura 2) e il catalogo CFTI4Med riporta la seguente sintesi degli effetti principali:

La scossa del 3 gennaio 1505 causò molti danni. Gli edifici di proprietà dei Bentivoglio, signori feudali del luogo, crollarono pressoché totalmente; poco prima del terremoto erano stati spesi per la loro manutenzione circa 2.000 ducati.

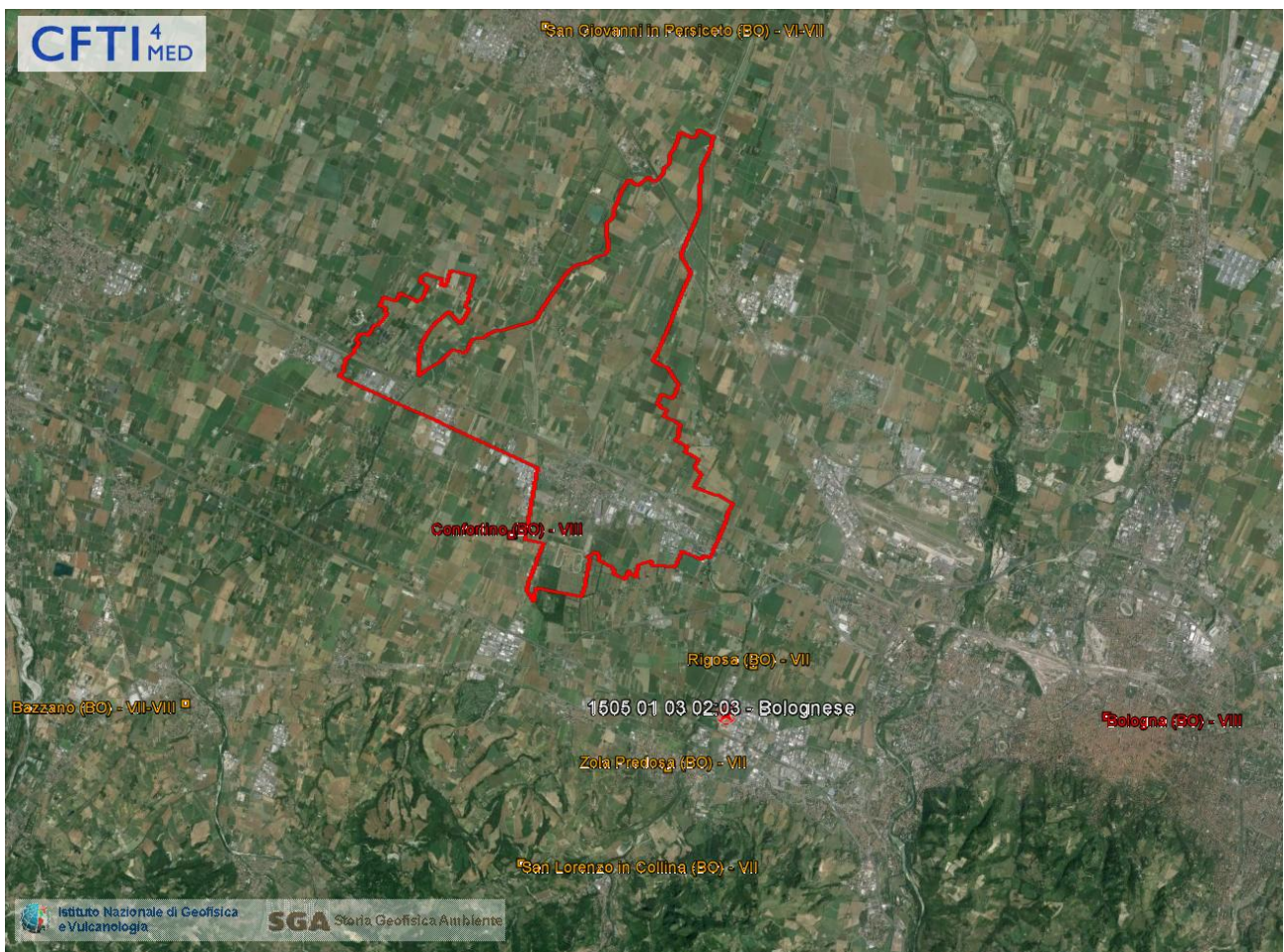


Figura 2. Effetti della scossa del 3 gennaio 1505 da dati CFTI4Med. Con la linea rossa è rappresentato il perimetro del comune di Anzola dell'Emilia.

In generale, per uno studio approfondito degli effetti degli eventi sismici nel territorio bolognese è opportuno riferirsi al volume *I terremoti a Bologna e nel suo territorio dal XII al XX secolo* (Boschi e Guidoboni, 2003), dal cui studio sono stati in seguito sintetizzati i dati del CFTI4Med, che a loro volta costituiscono il riferimento del CPTI11 per questa area. In

MICROZONAZIONE SISMICA DEL COMUNE DI ANZOLA DELL'EMILIA

figura 3 è riportato il grafico della cronologia dei terremoti noti con effetti di danno nell'area di Bologna.

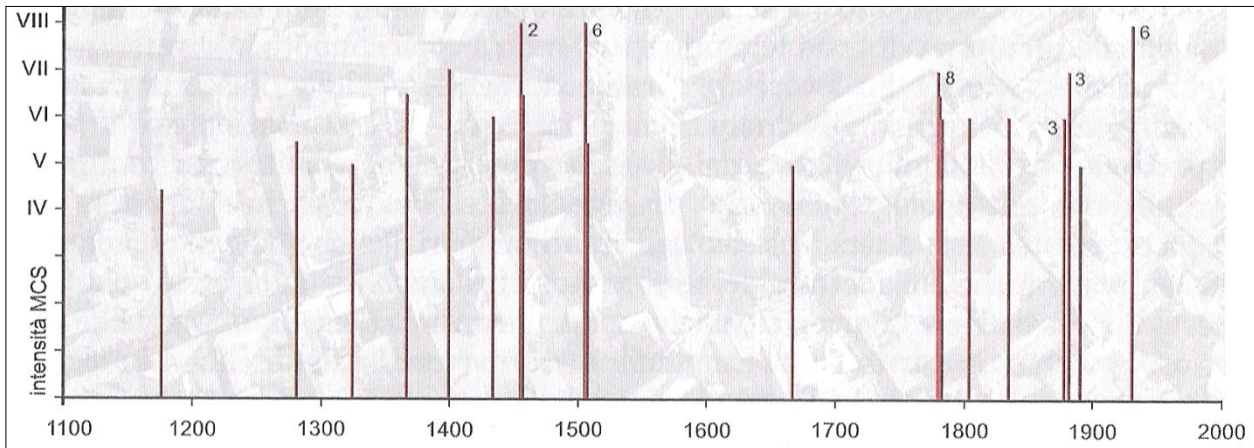


Figura 3. Cronologia e intensità epicentrale dei 38 terremoti noti per l'area di Bologna tra il XII e il XX secolo con effetti locali superiori o uguali al grado V-VI MCS (da Boschi e Guidoboni, 2003).

Alla luce dei dati storici sopra riportati, una caratteristica ricorrente della sismicità dell'area in esame pare essere quella di manifestarsi in sequenze della durata di diversi mesi, in cui la scossa più forte non è necessariamente la prima che si verifica e in cui sono diverse le scosse con magnitudo maggiore di 5. Quanto alla frequenza e ai tempi di ritorno dei singoli eventi, la finestra di osservazione disponibile pare limitata per trarre conclusioni.

2.2 La sequenza del maggio 2012

Relativamente agli effetti delle due scosse principali, del 20 e del 29 maggio, della sequenza sismica emiliana del 2012, i rapporti dei rilievi macrosismici eseguiti (Galli et al., 2012a) (Galli et al., 2012b) citano, per la provincia di Bologna, solo le località più settentrionali e non è quindi attribuito alcun valore di intensità al sito nel comune di Anzola dell'Emilia. In ogni caso, poiché ai paesi di Argelato, Bentivoglio e San Giovanni in Persiceto è attribuita una intensità pari al grado V MCS, sulla base delle informazioni raccolte si può stimare come massimo, anche per l'area in oggetto, un analogo valore di intensità.

2.3 Sorgenti sismogenetiche

Il database DISS (DISS Working Group, 2010) indica la presenza, poco a sud dell'area in esame (figura 4), di due sorgenti sismogenetiche individuali, ITIS091 e ITIS103, associate rispettivamente alla scossa del 3 gennaio 1505 e a quella del 20 aprile 1929. Entrambe rientrano nella fascia delimitata dalla sorgente composita ITCS047, lungo la quale paiono essersi concentrati i maggiori eventi dell'area bolognese. Si tratta di una porzione del fronte compressivo pedeappenninico, un sistema di faglie con vergenza nord-est, a cui è associata una magnitudo massima pari a 5.6, in analogia con quella presunta del massimo terremoto storico dell'area (3 gennaio 1505). La profondità è indicata tra 2 e 8 km, mentre lo slip-rate è compreso tra 0.1 e 0.5 mm/anno.

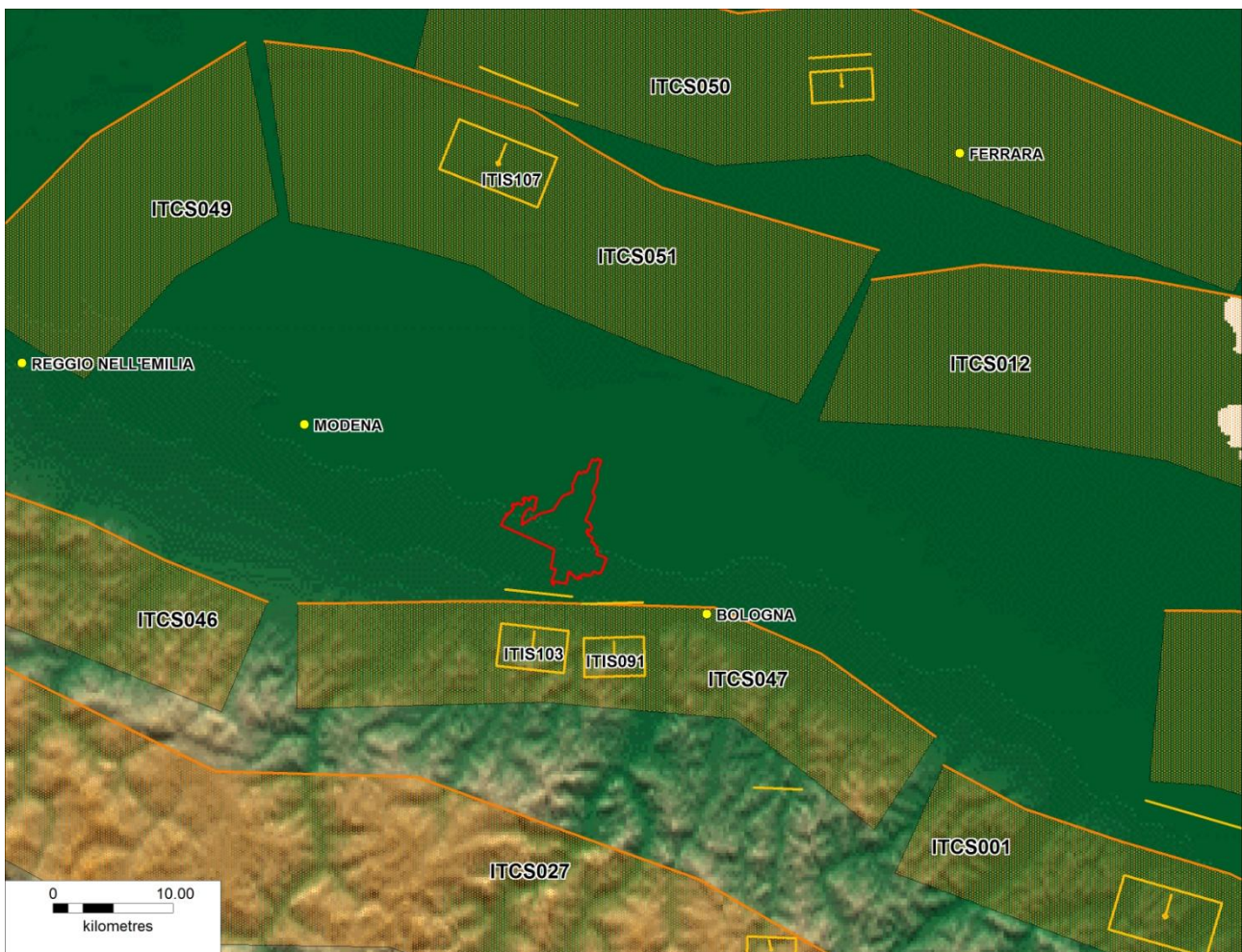


Figura 4. Le sorgenti sismogenetiche del database DISS 3.1.1, nell'intorno dell'area di studio. In rosso è riportata l'area comunale di Anzola dell'Emilia.

Le principali questioni aperte citate nel database DISS, a cui è difficile dare una risposta allo stato attuale delle conoscenze, riguardano i tempi di ritorno dei terremoti associati alle sorgenti individuali e la magnitudo massima associabile all'area sottesa dalla sorgente composita. Non si può infatti stabilire se in questa porzione del fronte compressivo pedeappenninico possono verificarsi solo eventi relativamente frequenti di magnitudo attorno a 5.6, o se sono anche possibili terremoti, più rari, di magnitudo superiore.

Bisogna inoltre tenere conto che l'area di Anzola dell'Emilia può anche risentire degli eventi associati a strutture sismogenetiche più distanti rispetto a quelle appena citate (figura 4), come i terremoti del maggio 2012, originati dalle sorgenti composite ITCS050 e ITCS051.

Secondo la Zonazione sismogenetica del Territorio Italiano - ZS9, prodotta dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) nel 2004 (Meletti e Valensise, 2004), che rappresenta il riferimento per le valutazioni di pericolosità sismica nel territorio nazionale, l'area in esame ricade quasi interamente entro la Zona 912 e solo in parte nella Zona 913, entrambe caratterizzate da un valore di Mw_{max} pari a 6.14.

3 ASSETTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO

3.1 Inquadramento geologico-strutturale

Il territorio del comune di Anzola dell'Emilia si posiziona nella parte centro-meridionale della Pianura Padana, che costituisce dal punto di vista geologico, un grande bacino subsidente plio-quadernario di tipo sedimentario, che comincia a delinearsi sin dall'inizio del Triassico (225 milioni di anni fa) e viene interessato da subsidenza differenziata sia nel tempo che nello spazio, in diversi periodi (Mesozoico, Cenozoico, ma soprattutto Pliocene e Quaternario), con movimenti verticali controllati dai caratteri strutturali presenti in profondità.

Il contesto geologico di riferimento è pertanto quello del Bacino Padano che strutturalmente rappresenta un'area di avanfossa che si è originata per la subduzione della microplacca padano-adriatica al di sotto dell'orogene appenninico (Dondi e D'Andrea, 1986) (Pieri e Groppi, 1981).

L'area oggetto dello studio di microzonazione sismica si posiziona lungo il margine esterno del fronte emerso della catena appenninica settentrionale, strutturata nel Miocene superiore-Pliocene inferiore, nella fascia di alta pianura padana dove si rinvergono spessi depositi alluvionali e in cui le deformazioni, sepolte, sono prevalentemente del Pliocene superiore e del Quaternario.

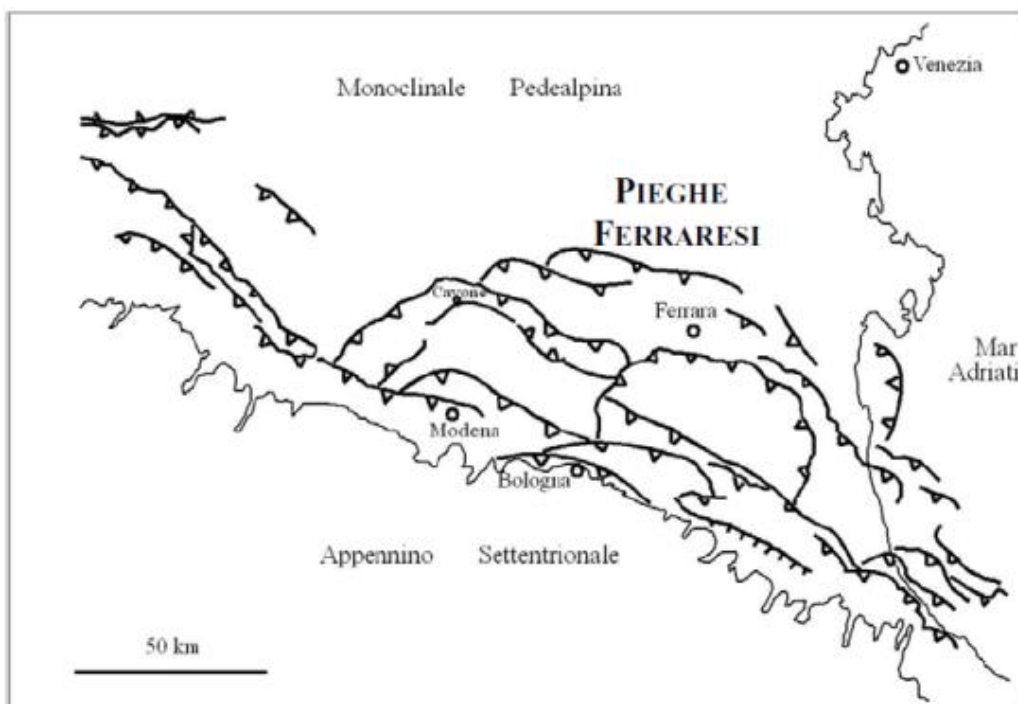


Figura 5. Schema tettonico del settore emiliano e romagnolo-ferrarese, con la suddivisione in Pieghe Emiliane, Ferraresi, Romagnole ed Adriatiche (Dondi et al., 1982). In particolare si evidenziano le strutture sepolte che interessano la pianura emiliana.

MICROZONAZIONE SISMICA DEL COMUNE DI ANZOLA DELL'EMILIA

Tali deformazioni sepolte, presenti a nord del territorio comunale di Anzola dell'Emilia, rappresentano il vero fronte appenninico che sovrascorre verso nord sulla piattaforma padano-veneta secondo una serie di archi (figura 5) disposti a formare una fascia circa parallela al bordo appenninico (Pieri e Groppi, 1981).

Dal punto di vista strutturale l'assetto del margine appenninico-padano è modellato secondo bande sinclinali ed anticlinali nord-vergenti, con asse parallelo alla catena (WNW-ESE); la porzione esterna della catena appenninica si spinge a nord oltre Ferrara (pieghe ferraresi) e ad est in mare Adriatico (pieghe romagnole e adriatiche) e rappresenta una sequenza di grandi pieghe e sovrascorrimenti (Pieri e Groppi, 1981) che, seppur sepolte ed occultate dalla copertura continentale alluvionale, costituiscono un elemento tettonico di rilievo, con ripercussioni dirette anche per il territorio in esame. Queste strutture sono poi dislocate da faglie con componente trascorrente ed andamento antiappenninico NE-SW, trasversale quindi all'asse della catena (figura 6).

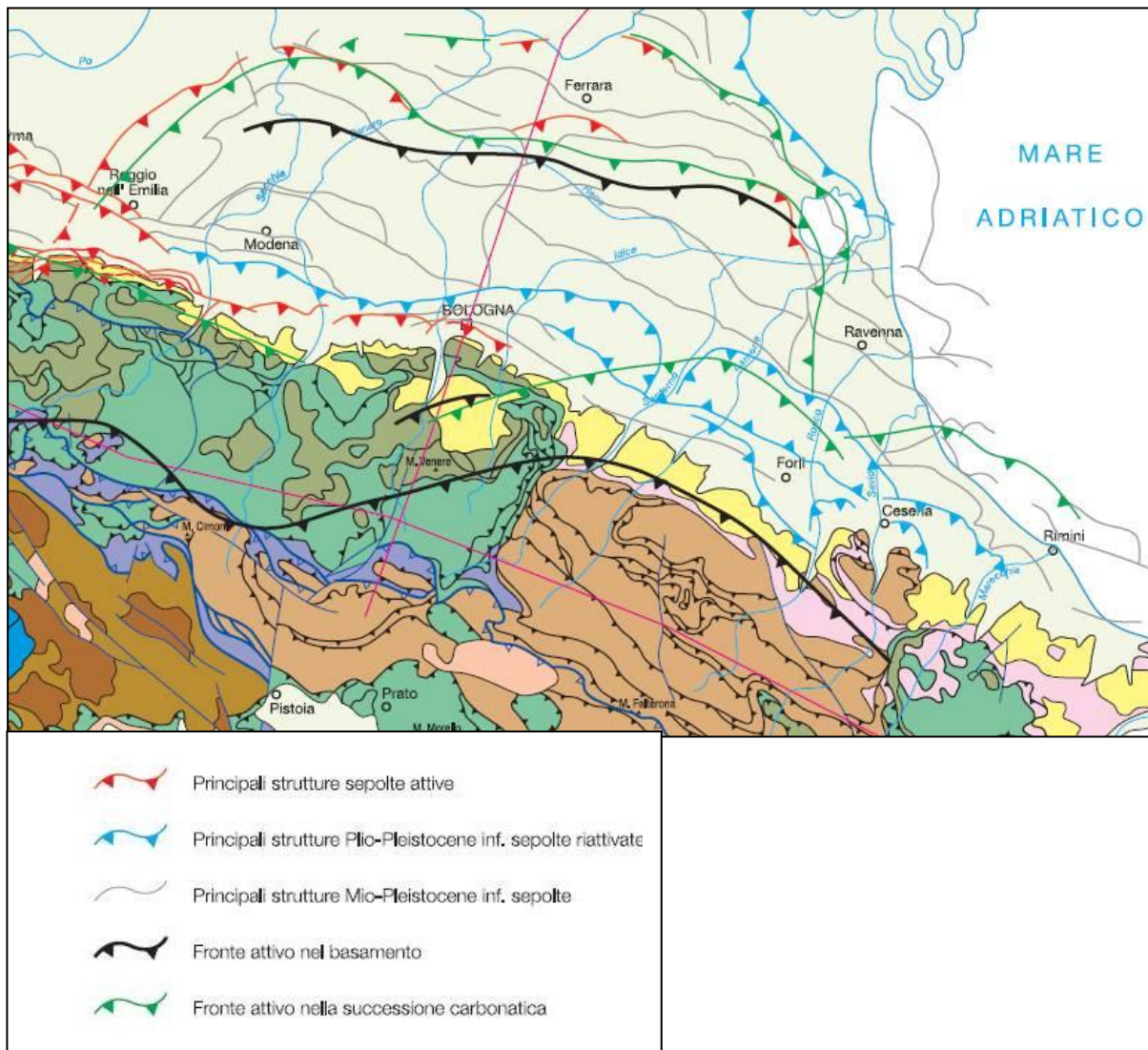


Figura 6. Schema tettonico del settore emiliano e romagnolo-ferrarese, con la suddivisione in Pieghe Emiliane, Ferraresi, Romagnole ed Adriatiche (Boccaletti et al., 2004). In particolare si evidenziano le strutture plio-pleistoceniche riattivate (tratto blu).

Tale porzione di bacino padano è stato nel tempo riempito da una spessa coltre di sedimenti clastici sin-tettonici, di età prevalentemente pliocenica e pleistocenica che sigillano le strutture deformative plicative sottostanti; il territorio comunale dal punto di vista strutturale rappresenta pertanto una sinclinale subsidente riempita dai depositi alluvionali portati dai corsi d'acqua appenninici collocata tra la porzione più esterna dell'Appennino settentrionale (Zona delle pieghe pedeappenniniche) a sud e la "Dorsale di Ferrara" a nord (Franchi, 2008).

In particolare la fase pliocenica viene denominata di *flysch* nella quale divenne dominante l'*input* di materiale erosivo proveniente dallo smantellamento della catena Appenninica (Zoetemeijer, 1993). Con il Pleistocene si instaura un nuovo ciclo sedimentario (Qm) (Ricci Lucchi et al., 1982), che porta al colmamento del Bacino Padano in un regime di subsidenza generalizzata. Gran parte delle aree precedentemente emerse vengono ricoperte dal mare ed inizia una sedimentazione nettamente sabbiosa che prosegue poi, ininterrottamente, fino all'Attuale. Successivamente, la sedimentazione diviene esclusivamente continentale, e prosegue con i depositi fluvio-lacustri delle alluvioni Padane (Qc) (Ricci Lucchi et al., 1982). I sedimenti sabbiosi, limosi ed argillosi, che riempiono la parte più superficiale del bacino, sono stati depositi dal Fiume Po e dagli altri fiumi tributari che provengono dalla catena Appenninica, compreso il Fiume Reno (Dondi et al., 1982) (Pieri, 1984) (Dondi e D'Andrea, 1986) (Ori, 1993) (Vittori e Ventura, 1995) (Amorosi et al., 1999).

Nel Pleistocene medio, quindi, la prosecuzione del sollevamento comporta il definitivo instaurarsi della deposizione continentale e inizia la sequenza deposizionale denominata Supersistema Emiliano Romagnolo; le tre Sequenze deposizionali proposte dalla Regione Emilia-Romagna per caratterizzare i depositi sedimentari a partire dal pliocene medio-superiore corrispondono a cicli trasgressivo-regressivi.

I depositi del Quaternario, soprattutto del Pleistocene medio-superiore, rappresentano degli accumuli disposti in ampie ondulazioni, con geometrie lenticolari che indicano il colmamento delle depressioni residue dei bacini pliocenici precedenti.

3.2 Inquadramento geologico

I dati geologici di seguito riportati sono derivati dalle relazioni geologiche redatte per il PRG e il PSC del comune di Anzola dell'Emilia e dall'analisi della Carta Geologica della Regione Emilia-Romagna 1: 50.000 redatta dal Servizio Geologico Sismico e dei Suoli. Le descrizioni delle unità geologiche sono desunte e sintetizzate dal documento Progetto CARG "Note illustrative della Carta Geologica d'Italia" per la Regione Emilia-Romagna (Martelli et al., 2009).

Tutte le informazioni analizzate circa la geologia riguardante l'area di interesse sono contenute nell'analisi del Foglio 220 e per la porzione settentrionale del territorio comunale del Foglio 202. Per ulteriori approfondimenti si rimanda alla consultazione dell'analisi dei fogli sopracitati, consultabili nel sito web del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della

MICROZONAZIONE SISMICA DEL COMUNE DI ANZOLA DELL'EMILIA

Regione Emilia-Romagna (<http://geo.regione.emilia-romagna.it/>), di cui è riportato un estratto in figura 7.

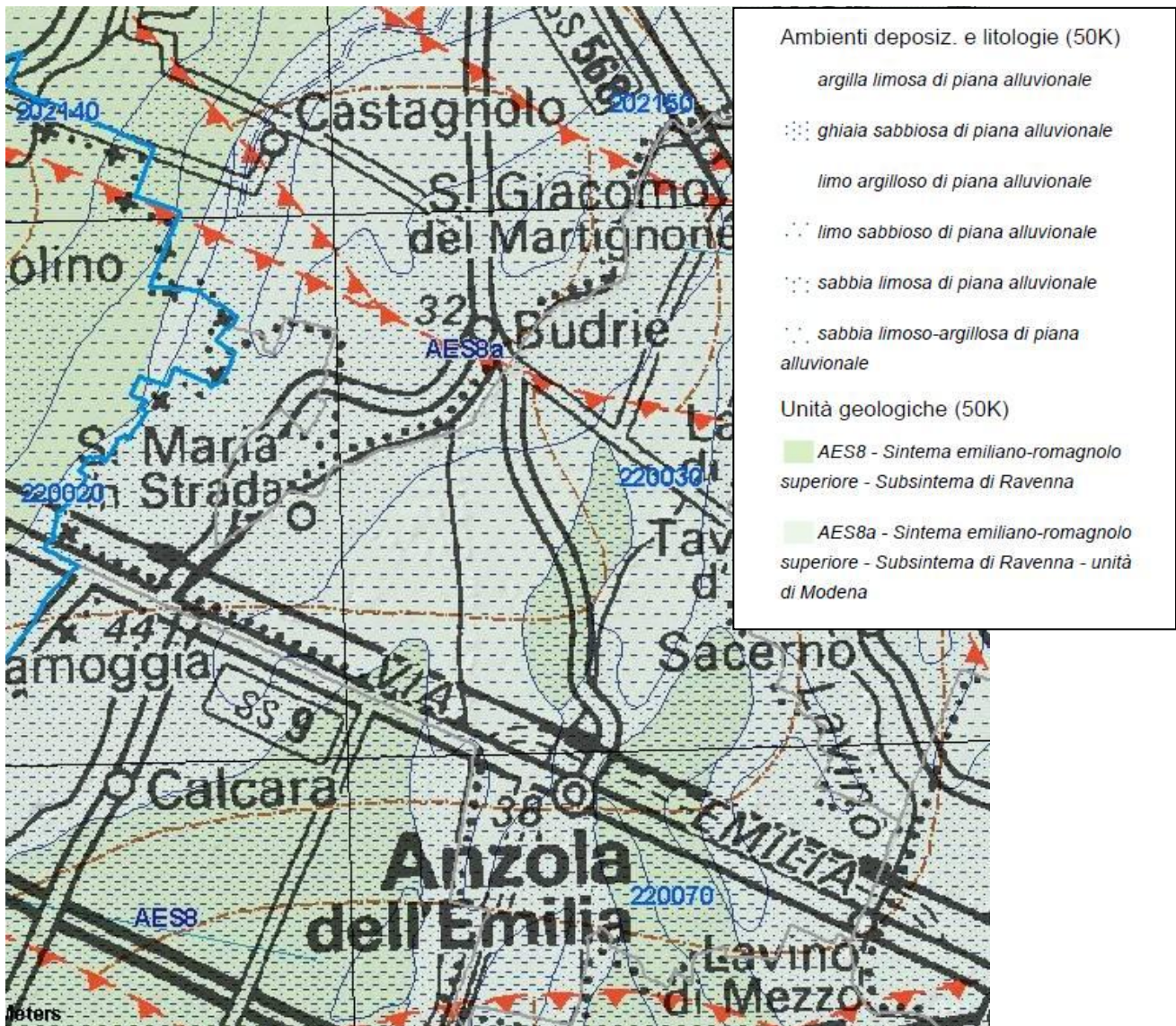


Figura 7. Estratto della carta geologica regionale con la rappresentazione dei diversi ambiti deposizionali all'interno del Subsistema di Ravenna

Dal punto di vista geologico la Pianura Padana è un bacino sedimentario compreso tra l'Appennino settentrionale e le Alpi meridionali in cui i sedimenti più recenti, in prevalenza olocenici, ricoprono successioni stratigrafiche complesse sia dal punto di vista stratigrafico stesso che strutturale; nello specifico l'area di progetto ricade nel dominio strutturale denominato "Pieghe Adriatiche".

In particolare, il territorio del comune di Anzola dell'Emilia risulta essere caratterizzato dalla presenza di depositi alluvionali attribuibili alle unità oloceniche più superficiali della potente successione quaternaria di riempimento del bacino padano legato all'orogenesi dell'Appennino Settentrionale, depositi geneticamente correlati all'evoluzione geomorfologica dominata dai processi di divagazione dei corsi d'acqua e dalle oscillazioni climatico-eustatiche sovrainposte agli eventi tettonici di sollevamento regionale.

I depositi alluvionali possono essere raggruppati all'interno del Sistema Emiliano-romagnolo (pleistocene medio-olocene) che è stato suddiviso a sua volta in 5 subsistemi sulla base delle caratteristiche morfo-pedostratigrafiche. Le due unità presenti sono essenzialmente composte da argille, limi e sabbie di piana alluvionale. Tali depositi quaternari continentali come premesso, geneticamente correlati agli apporti alluvionali, appaiono distribuiti in architetture nastriformi e lentiformi/tabulari; sono costituiti da clasti poligenici e con granulometria variabile in funzione della variabilità degli stati energetico-dinamici delle torbide in ambiente di sedimentazione di tipo fluvio-palustre.

Sulla base della Carta Geologica Regionale le unità geologiche affioranti sono essenzialmente caratterizzate da sedimenti di origine fluviale e marina distribuiti secondo alternanze di litotipi a diversa granulometria, organizzati in strati a geometria variabile, spesso lenticolare, e quindi arealmente discontinui, in cui i rapporti tra le diverse litologie sono da ricondurre all'evolversi di un ambiente caratterizzato da energie di trasporto e da modalità deposizionali variabili nel tempo.

In particolare come riportato nelle note illustrative del progetto CARG - Foglio 220 e 202 (Martelli et al., 2009) sono presenti:

AES8 - Subsistema di Ravenna (Pleistocene superiore-Olocene; post circa 20.000 anni fa)

Tale unità affiora nella maggior parte del Foglio 256, si sviluppa in condizioni di piana inondabile e rappresenta l'intero spessore dei sedimenti, prevalentemente fini, depositi nell'ultimo postglaciale, in parte al di sopra dell'esteso corpo ghiaioso attribuito all'unità di Vignola.

I depositi affioranti estesamente sono fini e vanno dalla sabbia media all'argilla e ai limi, depositi in ambiente di piana alluvionale sviluppata a valle dei conoidi; solo nelle aree a sud dell'autostrada A1 sono presenti depositi ghiaiosi di conoide. A valle dei conoidi il territorio presenta una inclinazione verso NNE, interrotta solo da blande ondulazioni positive allungate in senso N-S e NNE-SSO. Gli affioramenti sono praticamente inesistenti e le osservazioni sono basate essenzialmente dai sondaggi (si veda la banca dati disponibile sul sito web della Regione).

I depositi sono il prodotto della sedimentazione prevalentemente verticale dovuta a processi di trascinamento di corsi d'acqua sinuosi che si sviluppano a valle dei corsi braided caratteristici delle conoidi pedemontane. I processi deposizionali hanno portato alla formazione di argini naturali prevalentemente sabbiosi e piane inondabili limose argillose, mentre la migrazione dei meandri ha condotto alla deposizione di corpi sabbiosi nastriformi allungati nel senso di scorrimento delle acque. Lo spessore massimo dell'unità è di circa 20 metri; l'età è pleistocenica superiore-olocenica, le datazioni con il metodo C14 della base dell'unità oscillano tra 15000 e 9000 anni fa. Il tetto dell'unità è rappresentato dalla superficie deposizionale, per gran parte relitta, corrispondente al piano topografico, mentre il contatto di base è discontinuo, spesso erosivo e discordante, sugli altri subsistemi e sulle unità più antiche.

Su base morfologica, archeologica e pedostratigrafica viene distinta, all'interno del Subsistema di Ravenna, l'Unità di Modena (AES8a).

AES8a - Unità di Modena (Olocene; post IV-VII sec. d.C.)

Unità di rango inferiore che costituisce la parte sommitale del Subsistema di Ravenna, definita sulla base della presenza di un suolo a bassissimo grado di alterazione con profilo potente meno di 100 cm, calcareo, di colore grigio-giallastro.

Ghiaie prevalenti e sabbie, ricoperte da una coltre limoso argillosa discontinua: depositi alluvionali intravallivi, terrazzati, e di conoide. Lo spessore massimo dell'unità è di circa 8 metri; il profilo di alterazione è di esiguo spessore (poche decine di cm) e di tipo A/C, localmente A/Bw/C.

3.3 Paleogeografia e inquadramento geomorfologico-litologico

Come riportato nella Relazione geologica a corredo del quadro conoscitivo per il PSC associato Terre d'acqua (Franchi, 2008) l'area di studio ha una complessa evoluzione paleogeografica, in particolare l'andamento dei paleoalvei e degli alvei attuali è stato fortemente condizionato dall'evoluzione strutturale profonda della Pianura Padana, da fenomeni climatici e da interventi antropici di deviazione, regimazione e bonifica (figura 8).

In particolare si evidenzia la presenza di paleo alvei del Torrente Samoggia e del Torrente Lavino anche nel territorio del comune di Anzola dell'Emilia che trova conferma dalla presenza di dorsali morfologiche e dalle litostratigrafie sia delle indagini eseguite sia di quelle recuperate nell'archivio comunale. Il Torrente Samoggia si posiziona alla estremità occidentale del territorio comunale mentre il Torrente Lavino all'estremità est.

Procedendo verso monte dalla confluenza del Torrente Samoggia in Reno, il bacino del si suddivide nel bacino del Torrente Samoggia e nel bacino del Torrente Lavino, suo maggior affluente in sponda destra, che confluisce nel Samoggia nel tratto arginato in località Forcelli; nella medesima località si immettono in Samoggia, il Torrente Ghironda ed il Collettore Consorziale Acque Basse Forcelli, entrambi regolati da chiaviche con porte vinciane e paratoie che impediscono lo scolo naturale delle acque in presenza di eventi di piena nei torrenti Samoggia e Lavino (Franchi, 2008).

Le informazioni circa l'evoluzione paleo idrografica dei corsi d'acqua principali nell'area di studio, Fiume Reno e Torrente Lavino, desunte da fonti bibliografiche, indicano in particolare che per quanto riguarda il Fiume Reno, in origine, uscendo da Casalecchio e dopo aver costeggiato Bologna, scorreva più verso est, dalla zona di Pescarola-Corticella alle terre più basse di Minerbio e Baricella per innestarsi in un alveo antico del Po a sud di Ferrara, detto in seguito Po di Primaro (Franchi, 2008).

In sintesi, considerando l'evoluzione strutturale e geomorfologica deposizionale, si evidenzia che la litologia di superficie della zona di Alta pianura è costituita in prevalenza da depositi fluviali continentali a matrice sabbiosa-ghiaiosa con alvei e canali frequenti e con tendenza allo sviluppo di meandri.

Sinteticamente nel territorio del comune di Anzola dell'Emilia si evidenzia una predominanza di depositi coesivi (argillosi e limosi) con caratteristiche fisico-meccaniche localmente plastiche e scadenti, con locali livelli decimetrici e raramente metrici sabbiosi e limoso-sabbiosi entro i primi 5-6 metri di profondità; non paiono essere presenti depositi ghiaiosi relativi alla dinamica del Fiume Reno che scorre alcuni chilometri ad est.

Dal punto di vista litologico le unità che compongono la successione quaternaria continentale sono formate essenzialmente da una successione di ghiaie e peliti (queste ultime subordinate alle prime). Le sabbie sono sempre in quantità estremamente ridotta.

Tale situazione testimonia un processo di sedimentazione complesso, regolato da diversi fattori, quali le condizioni climatiche e morfologiche, le loro variazioni di percorso e le litologie disponibili nei loro bacini di alimentazione, l'incostante regime e capacità di trasporto dei fiumi e torrenti appenninici.

MICROZONAZIONE SISMICA DEL COMUNE DI ANZOLA DELL'EMILIA

In particolare per l'area in esame la presenza di litologie prevalentemente argillose nei terreni che compongono i bacini di alimentazione dei torrenti Samoggia e Lavino determina una erosione e trasporto di prevalenti litotipi fini da parte dei corsi d'acqua con conseguente deposito nei territori di questa porzione di pianura bolognese.

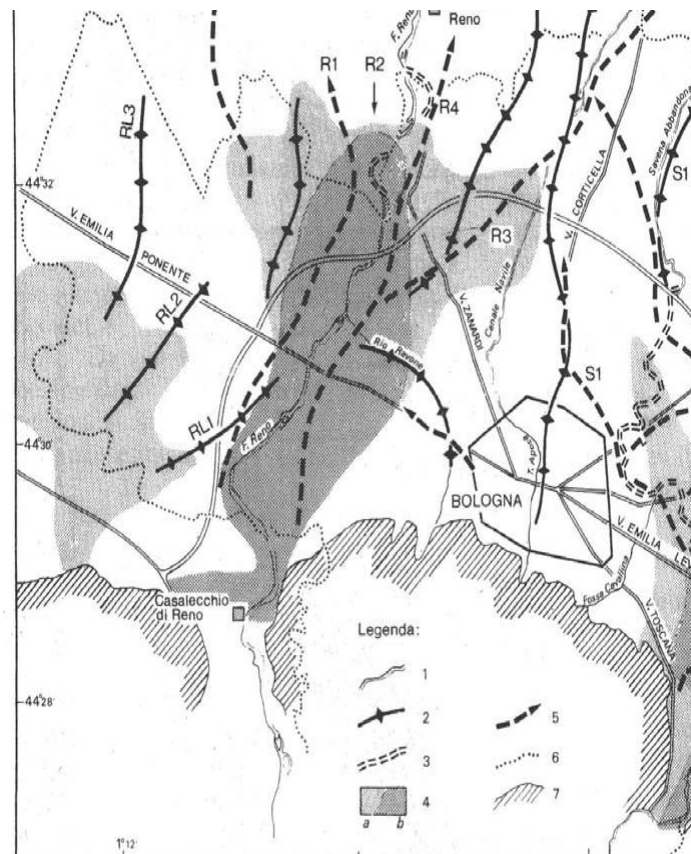


Figura 8. Reticolo idrografico attuale e ricostruzione del reticolo idrografico antico del Fiume Reno. Legenda: 1) Alvei attuali; 2) Posizioni di paleoalvei dedotti dalla presenza di dorsali morfologiche; 3) percorsi storici individuati in base a documenti o indicazioni storiche; 4) lobi sabbiosi (a) o ghiaiosi (b) della litologia superficiale; 5) assi di dorsali o di lobi ghiaiosi profondi; 6,7) limiti Comunali e del rilievo collinare (Elmi et al., 1984).

3.4 Subsidenza

Per quanto concerne il fenomeno della subsidenza le informazioni sono state desunte dai Rapporti di monitoraggio realizzati da Arpa - Dipartimento d'Ingegneria Ambientale in collaborazione con il Servizio geologico della Regione Emilia-Romagna e presenti sui rispettivi siti web.

La fascia in cui ricade il territorio del comune di Anzola dell'Emilia e in particolare la sua porzione nord-orientale, è da sempre soggetta ad un più o meno rapido abbassamento del suolo, sia per azioni tettoniche, quali l'affossamento del bacino sedimentario, sia per motivi legati alla natura ed alla stratigrafia dei sedimenti, depositatesi nei recenti periodi geologici ed in progressiva compattazione a causa del loro stesso peso.

All'abbassamento del suolo per cause naturali, nel periodo tra gli anni '60 e '70, si è andata a sovrapporre, sino a divenire causa dominante, una componente "artificiale" di tipo antropico imputabile principalmente all'estrazione di fluidi dal sottosuolo ed in particolare al forte prelievo idrico industriale e agricolo dalle falde, in tutta la zona della conoide del Fiume Reno, che ha persino provocato problemi nel corretto funzionamento della rete scolante gestita dai Consorzi di Bonifica.

La campagna di monitoraggio della subsidenza del 2000-2006 (Arpa Ingegneria Ambientale, 2007), eseguita da Arpa, ha affiancato al metodo classico della livellazione geometrica di alta precisione, utilizzato nei precedenti monitoraggi eseguiti negli anni '80 e '90, la tecnica dell'analisi interferometrica di dati radar satellitari. Nel corso degli anni 2011 e 2012 Arpa Emilia-Romagna, attraverso il progetto "Rilievo della subsidenza nella pianura emiliano-romagnola", ha aggiornato le conoscenze sui movimenti verticali del suolo rispetto al precedente rilievo effettuato nel 2006 (Arpa Ingegneria Ambientale, 2013), utilizzando il metodo dell'analisi interferometrica di dati radar satellitari supportato dall'elaborazione di 17 stazioni permanenti GPS (figure 9 e 10).

In base alle analisi presenti nel QC del PSC associato Terre d'Acqua (Franchi, 2008), si rileva che nel periodo 2002-2006 si noti una generale riduzione rispetto al periodo precedente sebbene siano ancora presenti alcuni picchi localizzati nei pressi di Sala Bolognese e di Anzola dell'Emilia con circa 30 mm/anno.

Dall'esame complessivo degli elaborati relativi alla subsidenza prodotti da Arpa tra il 1990 e il 2011, si evince che la gran parte del territorio di pianura della regione non presenta nel periodo 2006-11 variazioni di tendenza rispetto al periodo 2002-06.

La porzione occidentale della provincia di Bologna si conferma come il territorio più subsidente, nonostante continui la tendenza, già in atto da alcuni decenni, verso una progressiva riduzione degli abbassamenti. Persiste, infatti, un'ampia area a ridosso della città di Bologna, con una superficie di oltre 500 km², con un abbassamento medio di circa 15 mm/anno e punte massime di oltre 30 mm/anno in corrispondenza di Sala Bolognese, Lavino di Sotto e dell'area tra Lavino di Mezzo e Anzola dell'Emilia; di oltre 35 mm/anno in corrispondenza della cassa di espansione a ridosso del Fiume Reno nei pressi di Malacappa.

Come risulta evidente dagli stralci cartografici sopra riportati, nel territorio comunale di Anzola le due zone più critiche sono posizionate nella estremità settentrionale (S. Giacomo del Martignone) con tassi di subsidenza maggiori di 30 mm/anno ed anche oltre 40 mm/anno nel periodo 1992-2000, e la zona sud-est nei pressi della via Emilia con valori compresi tra 25 e 30 mm/anno.

Nella porzione occidentale del territorio comunale si evidenzia un miglioramento rispetto alla situazione del periodo 1992-2000.

MICROZONAZIONE SISMICA DEL COMUNE DI ANZOLA DELL'EMILIA

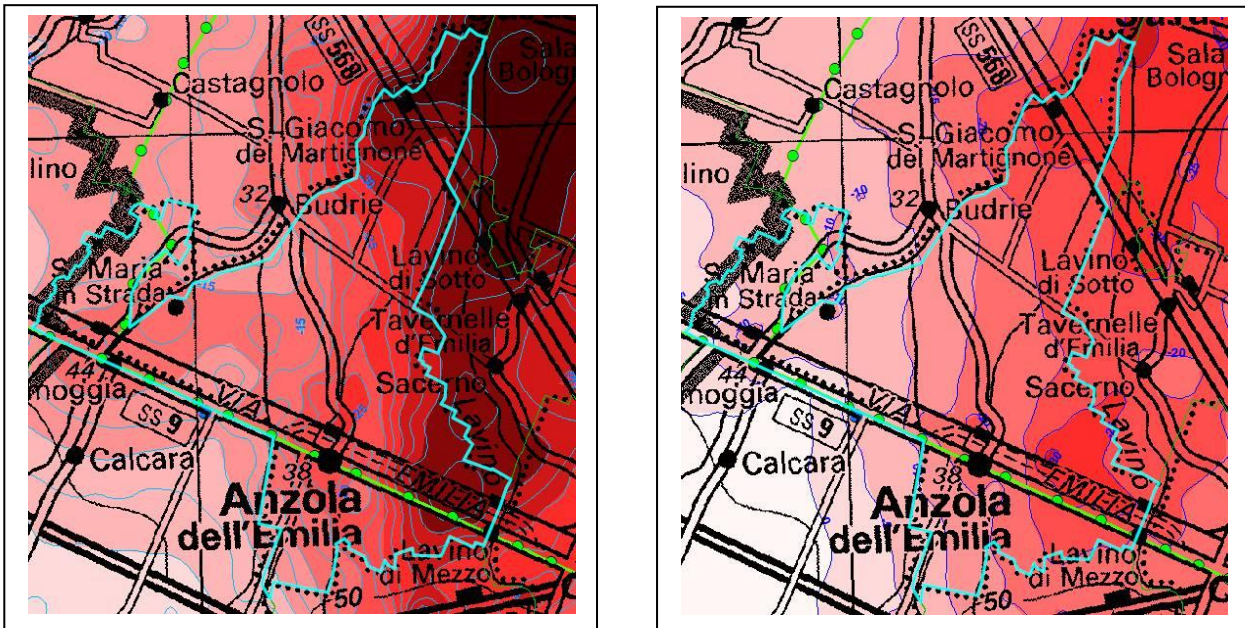


Figura 9. Carta delle velocità di abbassamento verticale del suolo nel periodo 1990-2000 a sinistra e 2002-2006 a destra (Arpa Ingegneria Ambientale, 2007).

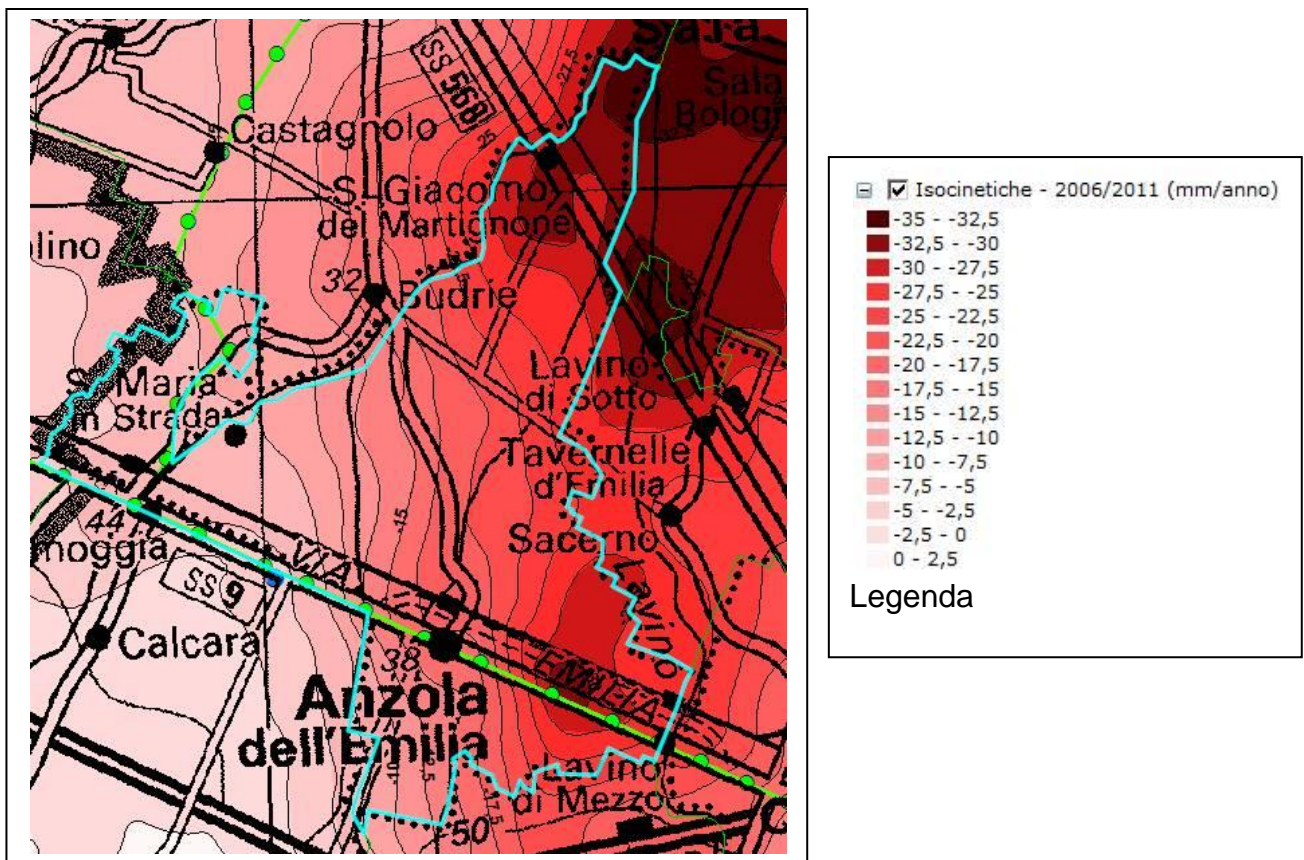


Figura 10. Carta delle velocità di abbassamento verticale del suolo nel periodo 2006-2011 (Arpa Ingegneria Ambientale, 2007) (Arpa Ingegneria Ambientale, 2013).

3.5 Idrogeologia

Per la corretta interpretazione e descrizione idrogeologica dell'area si può fare riferimento alla figura 11 che fornisce uno schema di comparazione tra la nomenclatura utilizzata in letteratura nell'ambito della definizione delle unità geologiche riconosciute classicamente, le sequenze deposizionali e la denominazione delle unità idrostratigrafiche proposta più recentemente.

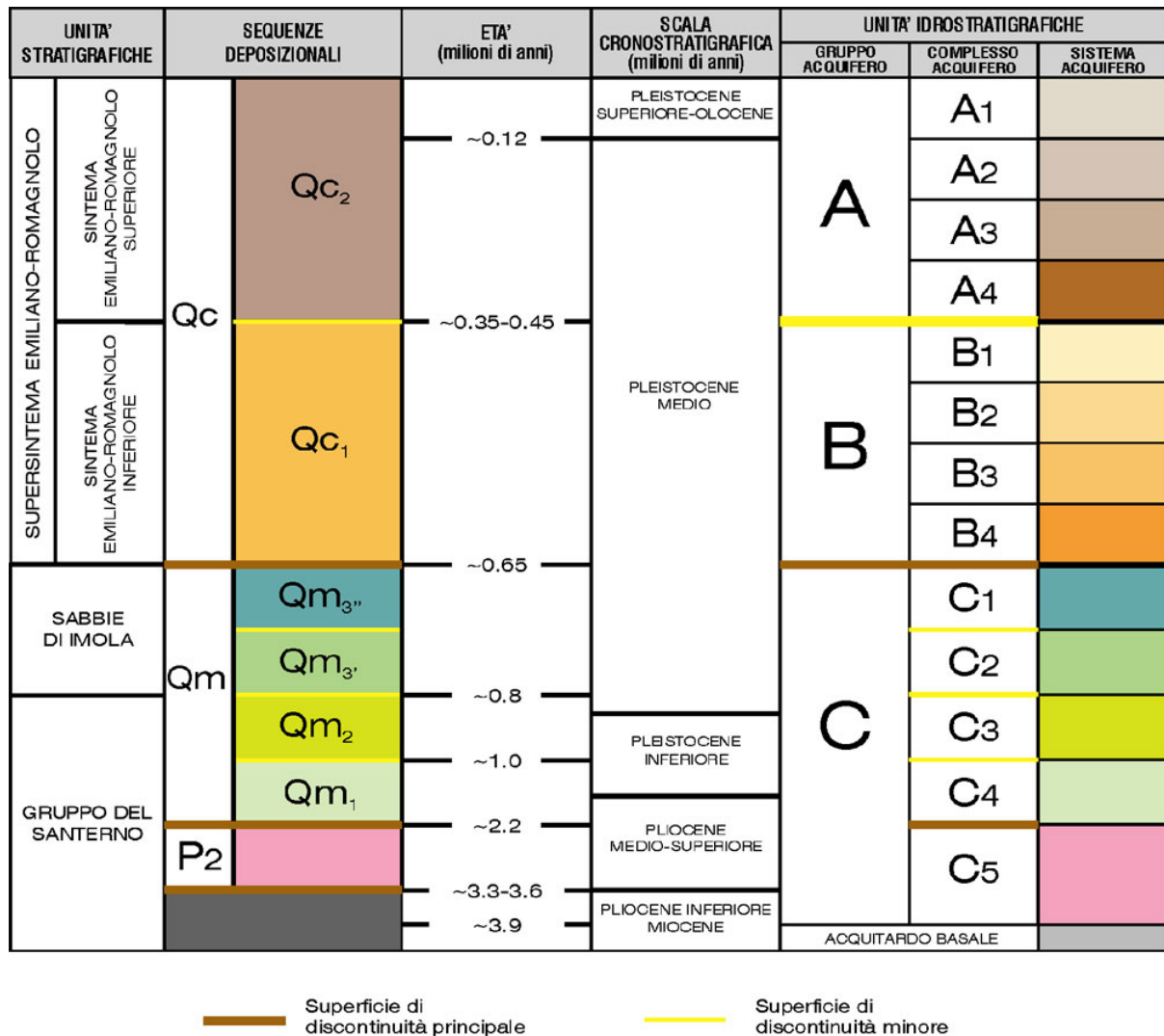


Figura 11. Schema della suddivisione dei depositi della pianura in tre unità stratigrafiche, denominate Gruppi Acquiferi A, B e C (Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico Sismico e dei Suoli, ENI - AGIP, 1998).

I rilievi piezometrici eseguiti nell'area per il presente studio di microzonazione sismica e i numerosi dati estratti dalle relazioni geologiche consultate presso l'archivio comunale, confermano l'esistenza di un acquifero multifalda costituito da un complesso di falde superficiali ed un complesso di falde profonde, come evidenziato nella sezione idrogeologica 31 riportata nell'allegato 1, tratta dal Progetto Riserve idriche sotterranee con l'individuazione dei Gruppi acquiferi A, B e C.

In particolare, relativamente alla piezometria della falda acquifera superficiale i dati desunti dal Quadro Conoscitivo del PSC di Anzola dell'Emilia indicano una soggiacenza abbastanza regolare, con valori mediamente compresi tra 1,00 m e 3,00 m di profondità dal piano di campagna ed una alimentazione che avviene tramite l'infiltrazione delle acque meteoriche dalla superficie (Tav. 9a/b/c del Quadro conoscitivo del PSC associato) (Franchi, 2008).

Per quanto riguarda l'acquifero profondo, dalle misure effettuate nell'ambito del Quadro conoscitivo del PSC associato (Franchi, 2008) si rileva un livello statico che si attesta a profondità variabili mediamente comprese tra 15,00 m ed i 30,00 m dal piano campagna. Le curve isopiezometriche presentano andamento decrescente da sud verso nord, con valori massimi nella zona di Anzola Emilia (40,0 m s.l.m.) e valori minimi nella zona nord del territorio comunale di Crevalcore (11.0 m s.l.m.). Come evidenziato dalla idrogeologica 31 riportata nell'allegato 1, il territorio di Anzola è caratterizzato da una predominanza di acquitardi in accordo con i dati stratigrafici.

4 DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

Le indagini geognostiche e geofisiche utilizzate nel presente studio di microzonazione sismica sono localizzate nella tavola 1 (Carta delle indagini, in scala 1:10.000), descritta al paragrafo 8.1.

4.1 Indagini di repertorio

Per le finalità dello studio di microzonazione sismica è stato raccolto e sistematizzato in una banca dati georeferenziata un vasto repertorio di indagini geognostiche pregresse. I dati sono stati messi a disposizione da diversi soggetti:

- dal Comune di Anzola dell'Emilia, che ha fornito alcune relazioni geologiche e ha consentito l'accesso al proprio archivio di pratiche edilizie;
- dal Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna, che ha fornito i dati della propria banca dati geognostica;
- da alcuni geologi professionisti che, a seguito di specifica richiesta, hanno fornito dei rapporti di indagine tratti dai propri archivi.

In particolare è stato effettuato un approfondito lavoro di ricerca presso l'archivio cartaceo presente presso la sede del Comune di Anzola dell'Emilia, contenente pratiche urbanistiche, edilizie e di deposito del cemento armato; sono pertanto state estratte tutte le relazioni geologiche e le relative indagini geognostiche dal 2009 ad oggi e, in maniera mirata, alcune relazioni geologiche antecedenti, relative ad aree rivelatesi, nel corso dello studio, di particolare interesse per la caratterizzazione geologica del sottosuolo.

TIPOLOGIA	NUMERO
Prove penetrometriche statiche con punta meccanica	252
Prove penetrometriche statiche con punta elettrica	9
Prove penetrometriche statiche con piezocono	41
Prove penetrometriche dinamiche leggere	22
Prove penetrometriche dinamiche pesanti	1
Prove penetrometriche in foro (SPT)	1
Sondaggi a carotaggio continuo	42
Sondaggi a distruzione di nucleo	12
Pozzi per acqua	73
Misure di microtremore a stazione singola	78
Extended Spatial AutoCorrelation (ESAC)	2
Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW)	12
Refraction microtremor (REMI)	1

Tabella 2. Numero di indagini pregresse per tipologia, raccolte e utilizzate per il presente studio.

Nella tabella 2 è riportata una sintesi dei dati delle indagini pregresse utilizzate nello studio di microzonazione e archiviate nella banca dati. Il numero totale delle indagini pregresse disponibili è 546, di cui 186 provenienti dalla banca dati geognostica regionale e 378 raccolte e informatizzate per il presente studio. Sono state inoltre consultati i risultati di indagini realizzate nei comuni limitrofi a breve distanza dal confine. Alcune di queste, sebbene non siano riportate nella carta delle indagini, sono risultate utili per integrare i dati presenti nell'area di Anzola dell'Emilia.

L'archivio informatizzato presenta innumerevoli vantaggi rispetto alla semplice catalogazione cartacea, tra questi la rapida accessibilità, il confronto immediato dei dati inseriti e la possibilità di un continuo aggiornamento. Inoltre la struttura della banca dati consente di associare al dato geografico (punto di indagine) e a quello iconografico (rapporto di prova in pdf), degli attributi alfanumerici che permettono di accedere interattivamente ai dati sintetici più importanti (profondità raggiunta, livello della falda misurato, quota del tetto delle ghiaie e del primo orizzonte sabbioso, presenza o meno di uno spessore significativo di terreni compressibili ecc.). La presenza di tali campi informativi ha permesso di realizzare delle carte tematiche specifiche ed efficaci rappresentazioni di sintesi che hanno consentito di ottenere un quadro immediato delle caratteristiche dei terreni studiati, alle diverse scale.

Dall'analisi della distribuzione delle verticali delle numerose indagini geognostiche pregresse e dei dati ad esse associati, si è potuto quindi osservare che buona parte del territorio comunale, ed in particolare la sua porzione urbanizzata, presenta caratteristiche geomeccaniche dei terreni ben note, da cui emerge un quadro litostratigrafico tutto sommato chiaro e di buona correlabilità generale, come dettagliato al capitolo 5.

Molto meno numerose sono invece risultate le indagini geofisiche pregresse, volte ad accertare la profondità del bedrock sismico dell'area e a misurare direttamente la velocità delle onde di taglio almeno nei primi trenta metri di profondità (V_{s30}).

Relativamente alla qualità dei dati, è chiaramente emerso che, data l'eterogeneità dell'archivio, non sempre indagini della stessa tipologia possono essere ritenute allo stesso modo attendibili. Dal confronto di indagini analoghe eseguite da soggetti diversi, in tempi diversi sulla stessa area, si sono evidenziati risultati a volte non coerenti. Per quanto possibile è stata quindi fatta una prima valutazione speditiva sull'affidabilità dei dati raccolti, tenendone opportunamente conto in sede di elaborazione e di studio.

4.2 Indagini eseguite per la microzonazione sismica

Al fine di caratterizzare le aree suscettibili di trasformazioni urbanistiche previste dal Piano Strutturale Comunale e le zone dell'urbanizzato che risultavano meno conosciute dal punto di vista geomeccanico e geofisico, sono stati integrati i dati pregressi con specifiche campagne di indagini.

In particolare sono state eseguite:

- 7 prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono (CPTU);
- 5 Multi-channel Analysis of Surface Waves (MASW);

MICROZONAZIONE SISMICA DEL COMUNE DI ANZOLA DELL'EMILIA

- 2 Extended Spatial AutoCorrelation (ESAC);
- 63 misure di microtremore a stazione singola (HVSr).

Nei paragrafi seguenti vengono descritte le metodologie operative dell'esecuzione e l'analisi di tali prove, sintetizzandone i principali dati e risultati in tabelle in cui sono riportati i codici identificativi presenti nei rapporti di prova (allegato 2) e nella carta delle indagini (tavola 1), che sono differenti dai codici di archiviazione propri della banca dati allegata al presente studio.

4.2.1 Prove penetrometriche statiche (CPTU)

Le prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU) sono state eseguite con punta conica con apertura di 60° e superficie di 10 cm² per la misurazione della resistenza di punta (Qc) e da manicotto di frizione (friction jacket), con superficie di 150 cm² per la misurazione dell'attrito laterale locale (Fs); le letture sono eseguite ogni centimetro di avanzamento. Le prove sono state realizzate utilizzando uno strumento penetrometrico montato su di un mezzo cingolato leggero del tipo PAGANI TG63-200 autoancorante, con cella di carico elettrica da 20t con sistema di acquisizione dati "PAGANI".

I risultati delle penetrometrie statiche sono elaborati e rappresentati in forma di grafico (allegato 2), dove sono riportati gli andamenti dei valori di Qc (resistenza alla punta), Fs (resistenza attrito laterale locale) e U (pressione nei pori).

Le prove sono state ubicate in corrispondenza dei centri abitati presenti nel territorio comunale tenendo conto delle trasformazioni urbanistiche previste. In particolare 4 prove sono state realizzate presso l'abitato di Anzola dell'Emilia, una in località Ponte Samoggia, una in località Santa Maria in Strada e una in località San Giacomo del Martignone (tavola 1).

Prova	Lat WGS 84	Lon WGS 84	Localizzazione	Data esecuzione	Profondità raggiunta	Quota falda da p.c.
CPTU1	44.5349	11.2306	Lavino di Mezzo	20/11//2014	19.98	2
CPTU2	44.5466	11.2033	Via dell'Olmo	20/11//2014	20.03	1.3
CPTU3	44.5479	11.1829	Via Rossini	20/11//2014	20.07	1.1
CPTU4	44.5405	11.1938	Via Baiesi	20/11//2014	19.99	2.6
CPTU5	44.5693	11.1466	Via Suor Orsola Donati - Ponte Samoggia	21/11//2014	20.05	1.6
CPTU6	44.5715	11.1586	Santa Maria in Strada	21/11//2014	20	3
CPTU7	44.5998	11.2165	San Giacomo del Martignone	21/11//2014	19.99	2.2

Tabella 3. Principali dati associati alle prove penetrometriche statiche di nuova esecuzione.

MICROZONAZIONE SISMICA DEL COMUNE DI ANZOLA DELL'EMILIA

Vengono di seguito riportate le stratigrafie schematiche elaborate sulla base dei dati penetrometrici a partire dai valori di resistenza alla punta e attrito laterale sulla base dell'indice SBT (Robertson, 1990).

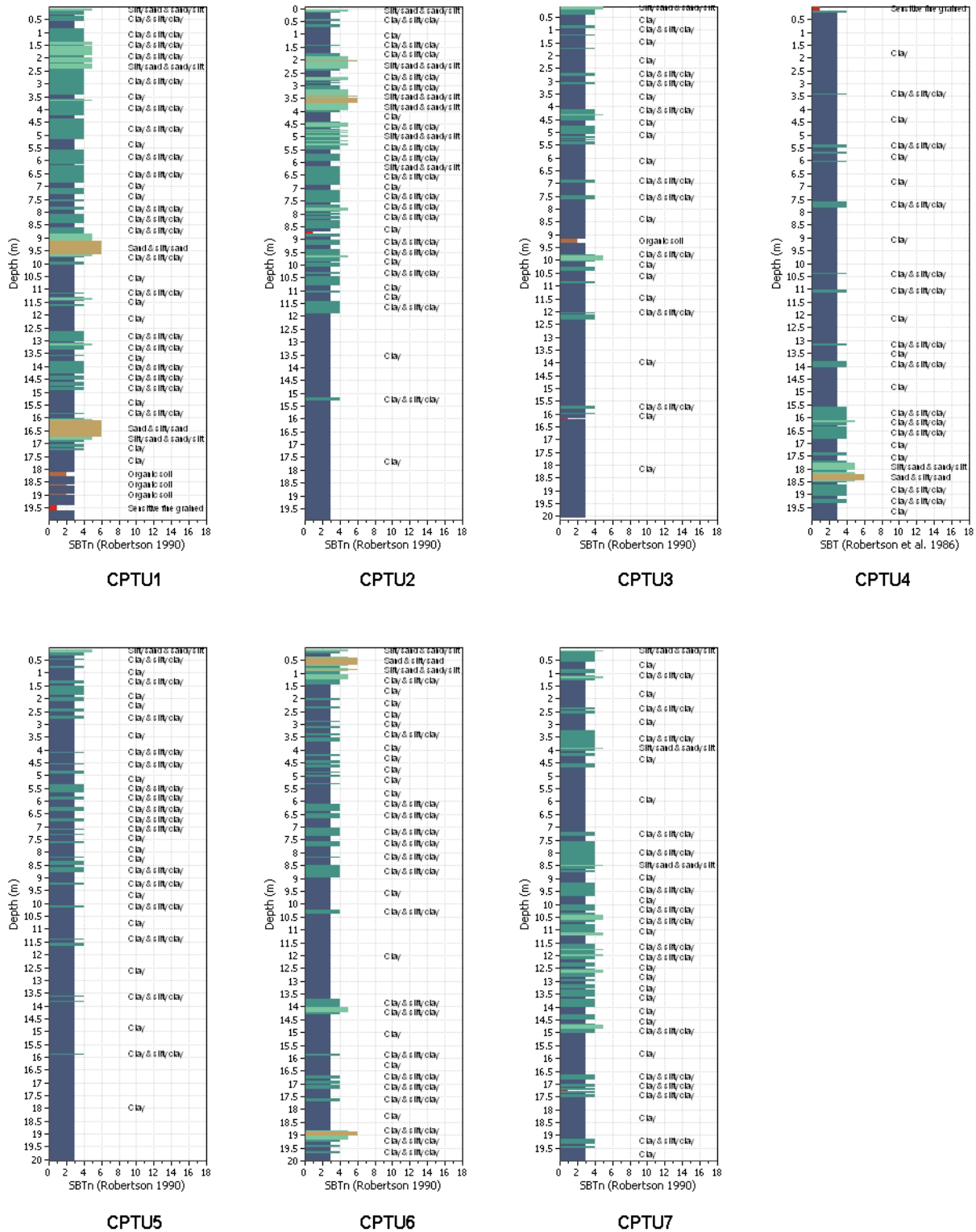


Figura 12. Sintesi stratigrafiche delle 7 prove CPTU e di nuova esecuzione.

4.2.2 Multi-channel Analysis of Surface Waves (MASW)

Per poter disporre di un certo numero di punti di misura di Vs30 nell'intera area comunale, a supporto del presente studio di microzonazione, sono state eseguite 5 indagini geofisiche con tecnica MASW, i cui dati principali sono riportati in tabella 4.

L'analisi della propagazione delle onde superficiali entro il sottosuolo con la metodologia MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) per la determinazione della velocità delle onde di taglio (Vs) è stata effettuata mediante l'utilizzo di uno stendimento sismico di superficie; l'elaborazione, mediante software d'inversione, della prova sismica ha fornito un log di Vs posizionato al centro della sezione il quale permette di individuare eventuali variazioni verticali dei valori cinematici corrispondenti a variazioni delle caratteristiche meccaniche dei terreni indagati.

I dati acquisiti, vengono sottoposti ad una fase di processing che consente di stimare la curva di dispersione caratteristica del sito in oggetto ovvero, la velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della frequenza.

La curva di dispersione ottenuta, viene successivamente utilizzata per un processo di inversione che fornisce come risultato finale il profilo verticale della velocità delle onde di taglio nel terreno e quindi una stima della rigidità in funzione della profondità.

Le sezioni realizzate sono costituite ciascuna da uno stendimento sismico di superficie composto da 24 geofoni da 4.5 Hz (linee 1 e 2) e da 21 geofoni (linea 3) interdistanti 2.5 m, per una lunghezza complessiva di 57.5 m.

Il sismografo utilizzato è un dispositivo modulare da 24 canali GEODE (Geometrics); l'intervallo di campionamento è stato selezionato a 0.5 millisecc. e il tempo di registrazione è stato fissato in 8 secondi.

La fase di processing è quella che segue l'acquisizione dei dati grezzi e permette di stimare, a partire dai sismogrammi acquisiti, le caratteristiche dispersive del sito, ovvero la velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della frequenza del segnale sismico (curva di dispersione sperimentale).

Dall'analisi della curva di dispersione ottenuta, si può poi risalire alla determinazione delle caratteristiche dei terreni investigati, individuando una crescita della velocità delle onde di Rayleigh al diminuire della frequenza (e dunque all'aumentare della profondità).

L'elaborazione della prova ha fornito un log sismico posizionato al centro della sezione dal quale sono stati poi ricavati i vari orizzonti sismo-stratigrafici a cui è stato associato il valore della velocità Vs direttamente misurata, consentendo di ottenere la Vs30, cioè la velocità media di propagazione delle onde di taglio nei primi 30 m di sottosuolo, dall'espressione:

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{S_i}}}$$

Prova	Lat WGS 84	Lon WGS 84	Localizzazione	Data esecuzione	Vs30
MASW1	44.5447	11.2067	Via Nuova	21/10/2014	226
MASW2	44.5543	11.1732	Via D. Marchetti	21/10/2014	198
MASW3	44.5622	11.1588	Via Delle Querce	21/10/2014	187
MASW4	44.5418	11.1879	Via Lunga	21/10/2014	201
MASW5	44.5655	11.144	Via Serafino Gasiani	21/10/2014	205

Tabella 4. Valori di Vs30 calcolati dalle prove MASW.

4.2.3 Extended Spatial AutoCorrelation (ESAC)

Per poter disporre di punti di misura delle velocità delle onde di taglio a profondità superiori a 30 metri nell'area comunale, a supporto del presente studio di microzonazione sono state eseguite 2 indagini geofisiche con tecnica ESAC, i cui dati principali sono riportati in tabella 5.

Codice prova	Lat WGS 84	Lon WGS 84	Localizzazione	Data esecuzione	Vs30	Prof. VsH	VsH
ESAC1	44.5477	11.1894	Via XXV Aprile	21/10/2014	192	60	236
ESAC2	44.5999	11.2162	San Giacomo del Martignone	21/10/2014	188	60	218

Tabella 5. Principali dati associati alle indagini ESAC. Nella colonna "Profondità VsH" è indicata la profondità massima (H) fino a cui la prova ha consentito di ottenere il valore di Vs.

L'antenna sismica (seismic array) è una configurazione di sensori sismici distribuiti secondo geometrie variabili sull'area di indagine. Le registrazioni di rumore effettuate dai singoli sensori vengono combinate mediante una tecnica ESAC che mette in evidenza la coerenza di fase delle varie registrazioni. Se si utilizzano solo sensori verticali, la componente del segnale identificata da questo sistema di acquisizione risulta essenzialmente costituita dalla combinazione dei diversi modi di vibrazione delle onde di Rayleigh. Sebbene non esistano limitazioni alla profondità di esplorazione di questo metodo di analisi, in realtà si può assumere che la massima profondità di esplorazione, anche in condizioni ottimali, sia dell'ordine di grandezza del diametro dell'array (da D a 2D circa).

Nello specifico alcune caratteristiche strumentali e ambientali possono limitare e condizionare tale metodologia di indagine come la frequenza propria dei sensori utilizzati e la struttura di velocità del sottosuolo indagato. Infatti, in presenza di forti variazioni di impedenza sismica in corrispondenza della transizione fra i sedimenti soffici superficiali e il basamento rigido, l'energia associata alle onde superficiali tende concentrarsi nella parte

più superficiale del terreno rendendo la curva di dispersione sostanzialmente insensibile alle caratteristiche del basamento.

La metodologia di indagine prevede che i sensori registrino il rumore di fondo (detto anche "microtremore") prodotto da sorgenti naturali e antropiche. Per l'acquisizione del rumore ambientale con l'Antenna Sismica sono stati utilizzati 24 geofoni da 4.5 hz posti con una configurazione a croce con 12 ricevitori per braccio interspaziati di 5 metri. Per l'analisi ed interpretazione dei dati sismici acquisiti è stato utilizzato il codice di calcolo ESAC del software Geopsy.

Le informazioni relative alle caratteristiche del sottosuolo vengono ottenute a partire da una analisi di correlazione fra i segnali registrati dai diversi sensori alle diverse frequenze (funzione di coerenza). Utilizzando opportune procedure di analisi è possibile ricavare da queste misure più curve di dispersione delle onde di Rayleigh presenti nel rumore sismico ambientale.

Dato che la forma delle curve di dispersione dipende dalle variazioni delle velocità delle onde S con la profondità, risulta quindi possibile stabilire una relazione fra la forma delle curve di dispersione e la velocità delle onde S nel sottosuolo. Questa relazione è individuata da un processo di inversione delle curve di dispersione ottenute con l'obiettivo di ricostruire un profilo sismico delle onde di taglio. Tale operazione è stata svolta in maniera iterativa fino a raggiungere il fitting migliore fra curve sperimentali e curve calcolate. L'inversione delle curve di dispersione è stata inoltre effettuata in maniera congiunta ai rapporti spettrali H/V realizzati nella medesima area in modo da avere un maggiore controllo sul fitting e quindi un dato sperimentale più efficiente.

4.2.4 Misure di microtremore a stazione singola (HVSR)

Le misure puntuali ad alta risoluzione di sismica passiva sono state eseguite con tromografo digitale Tromino e sono finalizzate all'elaborazione degli spettri di base ed analisi HVSR del sottosuolo (Albarello e Castellaro, 2011). Tale strumento misura il rumore di fondo e lo utilizza come funzione di eccitazione per identificare in maniera passiva, non invasiva e rapida le frequenze di risonanza del sottosuolo, che sono in relazione diretta con l'amplificazione sismica, oggi considerata da molti la prima causa di danno e distruzione durante un terremoto (Mucciarelli, 2012).

Il rumore di fondo (microtremore), presente ovunque sulla superficie terrestre ed associato sia a fenomeni atmosferici che all'attività antropica, è relativo ad oscillazioni molto piccole ($10-15 \text{ m/s}^2$), con componenti spettrali che vengono scarsamente attenuate nello spazio e misurabili con tecniche di acquisizione dette passive.

Tutte le onde elastiche dalla sorgente al sito, subiscono modifiche al loro tragitto ed attenuazioni in relazione alla natura del sottosuolo attraversato. Le informazioni stratigrafiche contenute nei microtremori sono sovrapposte al rumore casuale e possono essere estratte attraverso metodologie come quella di Nakamura dei rapporti spettrali (HVSR – horizontal to vertical spectral ratio). Tale tecnica è utilizzata anche per la determinazione dell'amplificazione sismica locale e per stimare le frequenze principali di

risonanza del sottosuolo, dati molto utili anche per la progettazione ingegneristica delle strutture (Castellaro, 2012) (Castellaro e Mulargia, 2011).

Il metodo considera i microtremori come composti in massima parte da onde di superficie (di Rayleigh) nelle componenti orizzontali e verticali, che vengono amplificate per effetto di sito a causa della presenza di discontinuità stratigrafiche nel sottosuolo. È quindi possibile ricostruire la forma spettrale del microtremore, in cui i picchi alle diverse frequenze rappresentano il rapporto tra la componente orizzontale e verticale dei segnali registrati.

A supporto del presente studio di microzonazione sismica sono state eseguite 63 misure, di cui 7 realizzate da Progeo s.r.l., in associazione alle indagini MASW e ESAC, e 56 dallo Studio scrivente.

Progeo s.r.l. ha utilizzato un tromografo digitale SARA modello SL07. L'acquisizione dati è stata fatta con frequenza di campionamento di 200Hz con un tempo di singola registrazione pari a 20 minuti per tutte le registrazioni.

Lo Studio Tarabusi ha utilizzato due tromografi digitali TROMINO, modelli Studio e Engy. L'acquisizione dei dati è stata effettuata con frequenza di campionamento di 128 Hz con un tempo di singola registrazione pari a 20 minuti.

Nella tabella 6 sono riportati i dati principali associati a ciascuna delle 56 misure di microtremore realizzate dallo Studio Tarabusi, i cui risultati sono tra loro comparabili. Nell'allegato 2 sono comunque riportati i rapporti di prova di tutte le 63 misure.

Si precisa che la numerazione progressiva delle indagini di sismica passiva riportata in tabella 6 è univoca ma non continua in quanto il numero totale delle misure eseguite dallo Studio Tarabusi (58) è superiore al numero delle misure riportate in tabella (56). Le 2 misure non presenti, che rimangono comunque archiviate nella banca dati dello studio scrivente, non sono state utilizzate perché soggette ad evidenti disturbi esterni per lo più di natura antropica che ne hanno pregiudicato l'interpretazione.

Questa campagna di indagine geofisica, proprio perché così estesa sul territorio comunale, è risultata molto importante ai fini della caratterizzazione sismica dei terreni, in quanto ha permesso verificare l'eventuale presenza di aree soggette possibili fenomeni di risonanza, anche significativi, originati da contrasti di impedenza all'interno dei depositi, di mapparne in dettaglio l'andamento e di stimarne con buona precisione la profondità. In particolare, come dettagliato nel capitolo 5, le misure eseguite non hanno evidenziato aree a forte contrasto di impedenza: infatti in tutte le misure l'ampiezza dei picchi di H/V è risultata inferiore a 2,5 e frequentemente inferiore a 2.

MICROZONAZIONE SISMICA DEL COMUNE DI ANZOLA DELL'EMILIA

Codice prova	Lat WGS 84	Lon WGS 84	Localizzazione	Data esecuzione	F0	A0
AE_0001	44.548	11.1926	Via XXV Aprile 5	20/06/14	0.63	1.76
AE_0002	44.5488	11.1899	Via XXV Aprile 25A	20/06/14	0.81	1.96
AE_0003	44.544	11.1891	Via Lunga	20/06/14	0.63	1.77
AE_0004	44.547	11.1874	Via del Risorgimento 36	20/06/14	0.75	2.06
AE_0005	44.5483	11.1989	Via Don Giovanni Minzoni 16	22/07/14	0.84	1.87
AE_0006	44.5472	11.201	Via Bosi 4	22/07/14	0.75	1.85
AE_0007	44.5438	11.2053	Via Fernando Santi 999	22/07/14	0.63	2.33
AE_0008	44.5377	11.2039	Via Emilia 68	22/07/14	0.72	2.05
AE_0009	44.5391	11.2126	Via Emilia 48	22/07/14	0.63	2.24
AE_0010	44.5367	11.219	Via Emilia 41D	22/07/14	0.91	2.02
AE_0011	44.5326	11.2181	Via I Maggio 6	22/07/14	0.78	2.14
AE_0012	44.5346	11.2238	Via Eugenio Montale 6	22/07/14	0.88	2.22
AE_0013	44.5326	11.2223	Via Eugenio Montale 18	22/07/14	0.69	2.18
AE_0014	44.5428	11.212	Via Magli Adolfo e Ettore 7	22/07/14	0.81	1.74
AE_0015	44.535	11.228	Via Alfonso e Gino Ragazzi 999	22/07/14	0.72	2.44
AE_0017	44.5318	11.2268	Via Guido Rossa 50	22/07/14	0.81	2.2
AE_0018	44.5352	11.2312	Via Dante Alighieri 11	22/07/14	0.91	2.25
AE_0019	44.5487	11.187	Via Emilia 174C	22/07/14	0.69	1.94
AE_0020	44.5503	11.1883	Via Costa Torquato 13	22/07/14	0.69	1.93
AE_0021	44.5517	11.1853	Via Costa Torquato 21	22/07/14	0.66	1.96
AE_0022	44.5502	11.1838	Via de Rosa F 14	22/07/14	0.75	1.86
AE_0023	44.5505	11.1952	SS9	22/07/14	0.63	1.94
AE_0024	44.5482	11.1823	Via Gioacchino Rossini 9	22/07/14	0.75	1.86
AE_0025	44.5419	11.1878	Via Lunga 29	22/07/14	0.63	1.68
AE_0026	44.5366	11.1853	Via Lunga 10C	22/07/14	0.63	1.85
AE_0027	44.5285	11.18	Via Lunga 25	22/07/14	0.72	1.93
AE_0028	44.5466	11.197	Via IV Novembre 9	22/07/14	0.75	2.17
AE_0029	44.5442	11.1942	Via M. Schiavina 4	22/07/14	0.72	1.96
AE_0030	44.5412	11.1945	Via G. Reggiani 10	22/07/14	0.72	2
AE_0031	44.5443	11.1976	Via Emilia 84	22/07/14	0.69	1.92
AE_0032	44.5538	11.1723	Via Emilia Est	23/07/14	0.69	1.98
AE_0033	44.5544	11.1716	Via D. Marchetti 7	23/07/14	0.72	2.4
AE_0034	44.5556	11.1731	Via D. Marchetti 13	23/07/14	0.78	1.93
AE_0035	44.5581	11.1736	Via D. Marchetti 27	23/07/14	0.69	1.97
AE_0036	44.5557	11.1703	Via Emilia 281	23/07/14	0.91	1.86
AE_0037	44.5526	11.1748	Via Emilia Est	23/07/14	0.75	1.7
AE_0038	44.5593	11.1562	Via dei Carpini 1A	24/07/14	0.69	2.39
AE_0039	44.5625	11.1583	Via delle Querce 22	24/07/14	0.91	1.89
AE_0040	44.5619	11.1546	Via degli Aceri 2	24/07/14	0.94	2.02
AE_0041	44.5755	11.1508	Via Castelletto 7	24/07/14	0.84	1.75
AE_0042	44.5473	11.2038	Via Bosi	20/11/14	0.81	1.87
AE_0043	44.5466	11.2018	Via Antonio Gramsci 76	20/11/14	0.94	1.71
AE_0044	44.5682	11.1463	Via Emilia Est	20/11/14	0.81	2.12
AE_0045	44.5675	11.1359	Via Emilia Est	20/11/14	0.88	2.04
AE_0046	44.5658	11.1375	Via Baiesi 120	20/11/14	0.63	2.35
AE_0048	44.5399	11.195	Via Baiesi 999	20/11/14	0.69	1.99
AE_0049	44.54	11.1928	Via Persiceto 28A	21/11/14	0.63	2.21
AE_0050	44.5729	11.1598	Via Fiorini	21/11/14	0.78	1.82
AE_0051	44.5853	11.1617	Via Stradellazzo 13B	21/11/14	0.81	1.66
AE_0052	44.5759	11.1436	Via Sghinolfi 16	21/11/14	0.84	1.55
AE_0053	44.5978	11.2155	Via Sparate	21/11/14	0.78	1.64
AE_0054	44.6022	11.2146	Via Carpanelli 30	21/11/14	0.84	2.03
AE_0055	44.5758	11.2048	Via Baiesi	21/11/14	0.69	1.93
AE_0056	44.567	11.1826	Via Castello del Bue 361	21/11/14	0.69	2.02
AE_0057	44.5711	11.1586	Via di Mezzo	21/11/14	0.59	2.2
AE_0058	44.5258	11.1938	Via Stradellazzo 19	21/11/14	0.78	1.84

Tabella 6. Principali dati associati alle 56 misure di microtremore a stazione singola eseguite dallo Studio Tarabusi.

5 MODELLO DEL SOTTOSUOLO

Al fine di ricostruire il modello geologico di sottosuolo del territorio comunale sono stati inizialmente analizzati i dati di tutte le indagini di repertorio disponibili, indicate nel capitolo 4; successivamente sono state analizzate ed interpretate le indagini geognostiche e geofisiche di nuova realizzazione previste per il presente studio di microzonazione sismica.

A seguito del lavoro di raccolta e sistematizzazione dei dati di repertorio e dell'esecuzione delle nuove indagini, i dati stratigrafici oggi disponibili per il territorio comunale di Anzola dell'Emilia sono molto numerosi e, pur con evidenti concentrazioni in alcune aree, anche tutto sommato ben distribuiti sull'intero territorio comunale. Questo consente di ottenere un'attendibile ricostruzione delle caratteristiche litologiche e sismiche dei primi 20-30 metri di sottosuolo nelle aree oggetto dello studio di microzonazione sismica (paragrafo 1.2).

In generale la litostratigrafia del sottosuolo di Anzola dell'Emilia desunta dalle indagini conferma l'assetto geologico-strutturale descritto nell'inquadramento, riportato nel capitolo 3, con la presenza, a partire dal piano di campagna, di prevalenti spessori di terreni limo-argillosi, con locali livelli di sabbie limose e limi sabbiosi, più frequenti nei primi 10 metri. In genere, al di sotto dei 10 metri si assiste ad un aumento della frazione argillosa dei depositi. Sono localmente presenti orizzonti ghiaioso-sabbiosi ad addensamento medio, in genere di spessore limitato e al di sotto dei 20 metri di profondità. Tale stratigrafia generale trova conferma in tutte le prove penetrometriche statiche eseguite per il presente studio e le cui stratigrafie sono riportate al paragrafo 4.2.1.

La carta geologico-tecnica (tavole 2 e paragrafo 8.2), che riporta le litologie superficiali prevalenti (primi 5 metri) e la carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (tavole 4 e paragrafo 8.4), che presenta la suddivisione del territorio dei comuni sulla base delle caratteristiche della successione litostratigrafica nei primi 30 metri circa, sintetizzano le conoscenze litostratigrafiche dell'area di studio. Per le prime indicazioni utili alla suddivisione delle aree a diversa litologia dei terreni di copertura, è stata utilizzata come base iniziale la "carta degli elementi geologici superficiali che possono determinare effetti locali", tavola 1 della recente variante al PTCP in materia di rischio sismico (Provincia di Bologna, 2013), che nell'area indagata identifica due aree, una caratterizzata dalla presenza di "limi e argille" e una da "sabbie prevalenti".

L'assenza di significativi contrasti di impedenza e i bassi valori di F_0 (<1 Hz) riscontrati in tutte le misure di microtremore eseguite (tabella 6), indica che nell'intera area di studio non sono presenti orizzonti ghiaiosi importanti almeno entro i primi 90-100 metri di profondità; pertanto la stratigrafia può essere assimilata a quelle che risultano da diversi sondaggi profondi (tavola 2), che indicano un'alternanza di depositi limo-argillosi, prevalenti, e limo-sabbiosi, con locali livelli ghiaioso-sabbiosi di spessore comunque limitato.

La velocità delle onde di taglio nei primi 30 metri risulta sostanzialmente analoga su tutte le aree indagate con le indagini MASW e ESAC realizzate a supporto del presente

studio e in quelle per cui sono disponibili dati di repertorio con valori prossimi ai 200 m/s (tavola 5). Le due indagini ESAC eseguite hanno permesso di ricavare dei modelli di velocità per i primi 60 metri (tabella 5), che indicano una diminuzione della V_s tra il Capoluogo (236 m/s) e la frazione più settentrionale di San Giacomo del Martignone (218 m/s).

5.1 Area Capoluogo e Lavino di Mezzo

Sulla base dei numerosi dati geognostici disponibili, confermati dai risultati delle prove CPTU realizzate per il presente lavoro (CPTU1 e CPTU2), la porzione orientale dell'area del Capoluogo e la frazione di Lavino di Mezzo risultano caratterizzate dalla presenza, nei primi 6-10 metri di profondità, di facies di canale e argine attribuibili al Torrente Lavino e caratterizzati da una prevalenza di limi sabbiosi e sabbie limose ("SM es" nella tavola 2), alternati a limi argillosi. Al di sotto dei primi 6-10 metri si osserva un generale aumento della frazione argillosa dei depositi con più rari livelli limo-sabbiosi. Oltre i 20 metri si possono rinvenire, localmente, orizzonti ghiaioso-sabbiosi ad addensamento medio, di spessore in genere comunque limitato. Tale porzione di territorio è attribuita alla zona MOPS 2001 (tavola 4 e paragrafo 8.4) ed è interamente inclusa nelle "Zone di attenzione per liquefazioni" (tavole 4, 6, 7 e 8) risultando quella caratterizzata da un maggiore rischio tra quelle indagate, anche in ragione degli alti indici di liquefazione calcolati sulle verticali delle prove CPTU1 e CPTU2 (paragrafo 7.2.3).

Nella porzione centro-occidentale dell'area del Capoluogo, i dati pregressi e quelli di nuova acquisizione (CPTU3 e 4) indicano la presenza di prevalenti livelli limo-argillosi ("ML pi" nella tavola 2) con locali livelli limo-sabbiosi di spessore variabile e un generale aumento della frazione argillosa dei depositi all'aumento della profondità. Oltre i 20 metri si possono rinvenire, localmente, orizzonti ghiaioso-sabbiosi ad addensamento medio, di spessore in genere comunque limitato. Le aree a prevalenza di depositi fini, in cui entro i primi 20 metri si rinvenivano comunque spessori significativi di depositi limo-sabbiosi sono attribuite la zona MOPS 2002 (tavola 4 e paragrafo 8.4) e sono incluse nelle "Zone di attenzione per liquefazioni" (tavole 4, 6, 7 e 8) sebbene si possa in genere preliminarmente valutare un basso rischio. Le aree in cui entro i primi 20 metri non si rinvenivano spessori significativi di depositi limo-sabbiosi sono attribuite alla zona MOPS 2003 (tavola 4 e paragrafo 8.4). Si sottolinea che in questa porzione di territorio, che comprende buona parte del Capoluogo, la distribuzione e la qualità dei dati geognostici oggi disponibili non risulta sufficiente per una caratterizzazione di dettaglio, in particolare per accertare l'effettiva presenza dei depositi liquefacibili, la cui estensione, in questa fase, è stata quindi cartografata in modo cautelativo, rimandandone una più dettagliata perimetrazione ai necessari approfondimenti di terzo livello.

5.2 Palazzina di sopra

I dati geognostici pregressi, più abbondanti nella porzione orientale, indicano la presenza, in quest'area, di prevalenti livelli limo-argillosi ("ML pi" nella tavola 2) con locali

livelli limo-sabbiosi di spessore variabile, con un generale aumento della frazione argillosa dei depositi all'aumento della profondità. Oltre i 20 metri si possono rinvenire, localmente, orizzonti ghiaioso-sabbiosi ad addensamento medio, di spessore in genere comunque limitato. La porzione orientale dell'area, non distante dal corso del Rio Martignone, in cui, entro i primi 20 metri, sebbene prevalgano i depositi fini, si rinvengono comunque spessori significativi di depositi limo-sabbiosi, è attribuita alla zona MOPS 2002 (tavola 4 e paragrafo 8.4) ed è inclusa nelle "Zone di attenzione per liquefazioni" (tavole 4, 6, 7 e 8), per cui andrà verificato il rischio nei successivi livelli di approfondimento. La porzione occidentale dell'area in cui, entro i primi 20 metri, non si rinvengono spessori significativi di depositi limo-sabbiosi è attribuita alla zona MOPS 2003 (tavola 4 e paragrafo 8.4). Tale area è stata individuata principalmente sulla base di informazioni bibliografiche (Provincia di Bologna, 2013) e interpretando i dati disponibili per le aree limitrofe del confinante comune di Crespellano (Sangiorgi, 2013), in quanto risultano insufficienti i dati geognostici disponibili. Tale zona dovrà pertanto essere meglio caratterizzata nei successivi livelli di approfondimento.

5.3 Area Ex Euroceramica

I dati geognostici pregressi indicano la presenza, in quest'area, di prevalenti livelli limo-argillosi ("ML pi" nella tavola 2) con locali livelli limo-sabbiosi di spessore variabile, con un generale aumento della frazione argillosa dei depositi all'aumento della profondità. Oltre i 18-20 metri si possono rinvenire, localmente, orizzonti ghiaioso-sabbiosi ad addensamento medio, di spessore in genere comunque limitato. La porzione meridionale dell'area in cui, entro i primi 20 metri, sebbene prevalgano i depositi fini, si rinvengono comunque spessori significativi di depositi limo-sabbiosi, è attribuita alla zona MOPS 2002 (tavola 4 e paragrafo 8.4) ed è inclusa nelle "Zone di attenzione per liquefazioni" (tavole 4, 6, 7 e 8), per cui andrà verificato il rischio nei successivi livelli di approfondimento. La porzione settentrionale dell'area in cui, entro i primi 20 metri, non si rinvengono spessori significativi di depositi limo-sabbiosi è attribuita alla zona MOPS 2003 (tavola 4 e paragrafo 8.4).

5.4 Ponte Samoggia

In questa porzione di territorio i dati geognostici pregressi indicano la presenza diffusa, nei primi 6-10 metri di profondità, di facies di canale e argine attribuibili al Torrente Samoggia e caratterizzate da una prevalenza di limi sabbiosi e sabbie limose ("SM es" nella tavola 2), alternati a limi argillosi. Al di sotto dei primi 6-10 metri si osserva un generale aumento della frazione argillosa dei depositi con più rari livelli limo-sabbiosi. Oltre i 20 metri si possono rinvenire, localmente (più diffusi nella porzione occidentale dell'ambito), orizzonti ghiaioso-sabbiosi ad addensamento medio, di spessore in genere comunque limitato. Tali aree sono attribuite alla zona MOPS 2001 (tavola 4 e paragrafo 8.4) e sono interamente incluse nelle "Zone di attenzione per liquefazioni" (tavole 4, 6, 7 e 8), per cui andrà verificato il rischio nei successivi livelli di approfondimento.

Al centro dell'area è stata distinta una stretta fascia ad andamento sud-ovest/nord-est, in cui le indagini pregresse e la CPTU5 di nuova esecuzione indicano la presenza di prevalenti livelli limo-argillosi ("ML pi" nella tavola 2) e una sostanziale assenza di livelli limo-sabbiosi significativi nei primi 20 metri. Tale area è attribuita alla zona MOPS 2003 (tavola 4 e paragrafo 8.4).

5.5 Santa Maria in Strada

In questo ambito di estensione ridotta e con a bassa densità abitativa, sono pochi i dati geognostici disponibili, tra questi vi è la prova CPTU6 di nuova realizzazione. La porzione nord-occidentale risulta caratterizzata dalla presenza, nei primi 6-10 metri di profondità, di facies di canale e argine attribuibili al Torrente Samoggia costituite da una prevalenza di limi sabbiosi e sabbie limose ("SM es" nella tavola 2), alternati a limi argillosi. Tale area è attribuita alla zona MOPS 2001 (tavola 4 e paragrafo 8.4) ed è inclusa nelle "Zone di attenzione per liquefazioni" (tavole 4, 6, 7 e 8), per cui andrà verificato il rischio nei successivi livelli di approfondimento. La porzione sud-orientale presenta invece una sostanziale assenza di livelli limo-sabbiosi significativi nei primi 20 metri. Tale area è attribuita alla zona MOPS 2003 (tavola 4 e paragrafo 8.4).

5.6 San Giacomo del Martignone

Tale ambito, il più settentrionale del territorio indagato e distante dai restanti ambiti, che si concentrano sostanzialmente tutti lungo la via Emilia o a breve distanza da essa, risulta ben caratterizzato da dati geognostici pregressi ed è stato indagato per il presente studio con la prova CPTU7. In quest'area prevalgono livelli limo-argillosi ("ML pi" nella tavola 2) con locali livelli limo-sabbiosi di spessore variabile. Oltre i 20 metri si possono rinvenire, localmente, orizzonti ghiaioso-sabbiosi ad addensamento medio, di spessore in genere comunque limitato. Poiché si rinvengono su diverse verticali di indagine, a diverse profondità, spessori significativi di depositi limo-sabbiosi, tale ambito è attribuito alla zona MOPS 2002 (tavola 4 e paragrafo 8.4) ed è incluso nelle "Zone di attenzione per liquefazioni" (tavole 4, 6, 7 e 8), anche in ragione dell'indice di liquefazione, basso ma non trascurabile, calcolato sulla verticale della prova CPTU7 (paragrafo 7.2.3).

6 INTERPRETAZIONI ED INCERTEZZE

Nel presente capitolo vengono esaminate le principali scelte effettuate a scopo interpretativo, partendo dall'esposizione della logica seguita, evidenziandone le ragioni e gli elementi a sostegno, ma cercando anche di valutarne le inevitabili incertezze e le eventuali criticità non risolvibili in questo livello di approfondimento.

6.1 Substrato rigido

Per la porzione di pianura in esame non risulta semplice identificare univocamente una o più superfici che possano corrispondere al substrato rigido, per il quale le linee guida (Commissione tecnica per la microzonazione sismica, 2012) richiedono l'archiviazione di dati specifici, qualora disponibili (paragrafo 8.4).

Come esposto nel capitolo 5, gli orizzonti ghiaiosi presenti a diverse profondità entro i primi 100 metri, non danno origine a significativi contrasti di impedenza rilevabili con le misure di microtremore eseguite in tutto il territorio comunale.

Tutte le misure di microtremore hanno evidenziato un picco, quasi sempre molto poco pronunciato, a frequenze comprese tra 0,6 e 0,9 Hz, che può essere probabilmente correlato con la superficie che separa gli acquiferi A2 e A3 (figura 11), evidenziata dalle sezioni riportate nell'allegato 1, corrispondente alla base dell'unità stratigrafica denominata "Subsistema di Bazzano (AES6)" del Pleistocene medio. Tale superficie, che nell'area comunale si rinviene a profondità variabili tra i 90 (estremo sud) e i 170 metri (estremo nord) (105 e 160 negli ambiti di studio oggetto della microzonazione sismica) potrebbe rappresentare, per l'intero territorio comunale, il substrato rigido di riferimento (bedrock sismico), sebbene sia ipotizzabile che risulti caratterizzato da valori di V_s che non raggiungono gli 800 m/s. Purtroppo non sono disponibili misure di V_s fino a tali profondità a cui potersi riferire, né per l'area indagata né per quelle limitrofe. Le misure di velocità che hanno permesso di caratterizzare profondità maggiori sono quelle ottenute dalle due prove ESAC realizzate per il presente studio, che hanno raggiunto i 60 metri dal piano campagna. Nella carta geologico-tecnica sono localizzati i punti di alcuni pozzi per acqua e sondaggi che hanno raggiunto la base del complesso acquifero A2 (tavola 2 e paragrafo 8.2).

Secondo le linee guida (Commissione tecnica per la microzonazione sismica, 2013) è previsto che vengano prodotte, archiviate nella banca dati e non rappresentate nella cartografia, solo se disponibili, le isobate del substrato rigido. Vengono quindi consegnate nel formato richiesto le isobate della base del complesso acquifero A2 per la zona di studio (ricavate dai dati in formato griglia della banca dati del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna).

6.2 Distribuzione dei livelli limo-sabbiosi

Sulla base dei dati disponibili, i depositi granulari (in genere saturi) presenti entro i primi metri dal piano campagna, risultano organizzati in corpi di spessore variabile, a geometria

lenticolare, con frequenti brusche chiusure laterali, che rendono difficile sia la loro individuazione che la loro perimetrazione in carta nell'ambito di uno studio a scala comunale. Le considerazioni e gli approfondimenti fatti a seguito del rinvenimento di tali litologie (capitoli 5 e 7), hanno comunque permesso di delimitare un'ampia area instabile per la presenza depositi potenzialmente liquefacibili (tavole 4, 6, 7 e 8) entro le aree di interesse della microzonazione sismica di dettaglio, cioè nelle aree urbanizzate, in quelle suscettibili di trasformazioni urbanistiche e lungo le fasce a cavallo delle reti infrastrutturali (definite al paragrafo 1.2), per cui sono in genere disponibili sufficienti dati geognostici. In ogni caso, in ragione della suddetta variabilità nella distribuzione dei depositi granulari saturi anche su verticali di indagine molto ravvicinate, anche nelle aree in cui non sono specificamente indicate "Zone di attenzione per liquefazione" non può essere in assoluto esclusa la presenza di locali livelli granulari saturi, il cui reale potenziale di liquefazione dovrebbe sempre essere puntualmente valutato con specifiche indagini geognostiche nelle successive fasi di pianificazione e nella progettazione esecutiva degli interventi.

6.3 Determinazione della velocità delle onde di taglio (V_s)

Per poter essere correttamente applicati, gli abachi indicati nell'Allegato A2 degli indirizzi regionali (Regione Emilia-Romagna, 2007) prevedono la conoscenza della profondità del substrato rigido (paragrafo 6.1) e della velocità delle onde di taglio dei primi metri di depositi (V_{s30} o V_{sH}).

Per questa ragione, a integrazione dei pochi dati geofisici di archivio volti alla misurazione diretta del parametro V_s (8 dati puntuali), sono state realizzate, per il presente studio, 5 indagini con tecnica MASW (paragrafo 4.2.2) e 2 con tecnica ESAC (paragrafo 4.2.3). Sono così ora in tutto disponibili 15 punti di misura diretta del valore di V_s fino a 30 metri (12 da MASW, 2 da ESAC e uno da REMI), che sono riportati nella tavola 5, i cui contenuti sono illustrati in dettaglio nel paragrafo 8.5. Considerando le indagini geofisiche di nuova realizzazione, la distribuzione dei dati puntuali è ora buona, per lo meno nelle aree di interesse della microzonazione sismica di dettaglio (aree urbanizzate, suscettibili di trasformazioni urbanistiche e fasce a cavallo delle reti infrastrutturali), anche se il numero assoluto rimane sicuramente non elevato. In ogni caso in tutta l'area comunale sono stati registrati valori di V_{s30} prossimi ai 200 m/s. Un unico valore, quello della MASW1 (226 m/s), supera i 225 m/s, ma in considerazione dell'inevitabile incertezza del dato geofisico, si può assimilare anche questo dato ai restanti e riferirsi, per l'intera area comunale, al valore di 200 m/s per l'utilizzo degli abachi dell'Allegato A2 degli indirizzi regionali (Regione Emilia-Romagna, 2007). Questo dato, associato a quello della profondità del bedrock (o pseudo-bedrock) sismico, sempre maggiore di 100 metri (abaco PIANURA2), ha permesso di ricavare un unico fattore di amplificazione per tutte le aree di interesse (paragrafo 7.1).

6.4 Piezometria

Come definito in sede di inquadramento (capitolo 3), nell'area in esame è stata accertata l'esistenza di un acquifero multifalda costituito da un primo complesso di falde superficiali ed un secondo di falde profonde (figura 11).

In particolare, relativamente alla piezometria della falda acquifera superficiale i dati desunti dal Quadro Conoscitivo del PSC di Anzola dell'Emilia indicano una soggiacenza abbastanza regolare, con valori mediamente compresi tra 1 e 3 metri di profondità dal piano di campagna ed una alimentazione che avviene tramite l'infiltrazione delle acque meteoriche dalla superficie (Tav. 9a/b/c del Quadro conoscitivo del PSC associato) (Franchi, 2008).

Per quanto riguarda l'acquifero più profondo, si rileva un livello statico che si attesta a profondità variabili mediamente comprese tra 15 e i 30 metri dal piano campagna.

I livelli idrici misurati nei fori delle 7 penetrometrie realizzate per il presente studio confermano tale indicazione con valori di soggiacenza compresi tra 1,1 e 3 metri da p.c..

7 METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI

Il fine ultimo di uno studio di microzonazione di secondo livello è quello di pervenire ad una suddivisione del territorio indagato in zone stabili (non presenti nell'area comunale di Anzola dell'Emilia), zone suscettibili di amplificazioni locali, a loro volta suddivise in aree a diverso grado di amplificazione, e zone instabili, per cui si richiedono approfondimenti di terzo livello (tavole 6, 7 e 8). I paragrafi del presente capitolo illustrano quindi i risultati dello studio e le metodologie di elaborazione utilizzate per determinare i fattori di amplificazione e per identificare le aree instabili, che, nell'area di Anzola dell'Emilia, sono solo quelle potenzialmente soggette a fenomeni di liquefazione.

7.1 Zone suscettibili di amplificazioni locali - Calcolo dei fattori di amplificazione

Innanzitutto si precisa che il calcolo dei fattori di amplificazione ha interessato solo le aree di interesse della microzonazione sismica di dettaglio, cioè le aree urbanizzate, quelle suscettibili di trasformazioni urbanistiche e le fasce a cavallo delle reti infrastrutturali (Regione Emilia-Romagna, 2013).

Per suddividere il territorio in base all'amplificazione attesa, in aree a maggiore e minore pericolosità, devono essere calcolati, nel secondo livello di microzonazione sismica, i fattori di amplificazione, scegliendo se utilizzare gli abachi nazionali degli ICMS (Gruppo di lavoro MS, 2008) o quelli di riferimento regionali (Regione Emilia-Romagna, 2007). Nel presente studio la scelta è caduta su questi ultimi, poiché si ritiene che, per come sono strutturati, consentano una migliore e più corretta modellazione per lo specifico caso del comune di Anzola dell'Emilia.

La prima scelta da fare, per poter determinare i fattori di amplificazione (FA_{PGA} , $FA_{0,1-0,5s}$, $FA_{0,5-1s}$) secondo i criteri regionali (Regione Emilia-Romagna, 2007), è quella relativa a quali abachi utilizzare.

Nel caso del comune di Anzola dell'Emilia, in ragione della riscontrata omogeneità (paragrafi 6.1 e 6.3), in tutti gli ambiti di studio del territorio comunale, sia della profondità del substrato (sempre > 100 m), sia dei valori di $Vs30$ (sempre attorno ai 200 m/s), sono stati utilizzati lo stesso abaco (PIANURA2) e gli stessi fattori di amplificazione per tutte le aree di interesse:

- *A2.1.2 - Pianura Padana e Costa Adriatica (Pianura2, substrato $>100m$ da p.c.)*
Utilizzato per l'area in cui gli spessori degli orizzonti di ghiaia più superficiali sono limitati (bassi contrasti di impedenza riscontrati nei grafici di H/V ottenuti dalle indagini di microtremore a stazione singola) e il bedrock (o pseudo-bedrock) sismico è rappresentato dal tetto del complesso acquifero A2 (base del complesso acquifero A1), posto ad una profondità di uguale o superiore a 100 metri dalla superficie topografica.

Con $Vs30 = 200$ m/s si hanno: $FA_{PGA} = 1,5$; $FA_{0,1-0,5s} = 1,8$; $FA_{0,5-1s} = 2,5$.

7.2 Verifiche del potenziale di liquefazione

Le verifiche del potenziale di liquefazione, assai delicate e complesse da compiere alla scala territoriale, richiedono la stima del "fattore scatenante" (evento sismico atteso), dei "fattori predisponenti" (caratteristiche meccaniche dei sedimenti) e dei possibili "effetti" sulle strutture esistenti o di progetto (Crespellani et al., 1991). Le caratteristiche dell'evento sismico atteso sono la magnitudo e l'accelerazione a_g su suolo rigido di riferimento. I fattori predisponenti sono indicati nelle carte di microzonazione di livello 2, in particolare il dato di FA_{PGA} per le diverse aree e quello relativo alla presenza dei depositi granulari saturi (tavola 6).

Sulla base dei dati geognostici relativi alle 7 prove CPTU eseguite per il presente studio di microzonazione e in considerazione del rinvenimento su diverse verticali di livelli limosi e sabbiosi entro i primi 20 metri di profondità, si è proceduto ad una preliminare verifica della liquefazione con metodi semplificati, come dettagliato nel paragrafo 7.2.3.

7.2.1 Stima della magnitudo attesa

Secondo quanto indicato al paragrafo 2.8 degli ICMS (Gruppo di lavoro MS, 2008), nelle verifiche di liquefazione (così come in quelle di stabilità dei versanti) si deve tener conto della magnitudo attesa. Nelle verifiche di liquefazione il valore di magnitudo determina:

- se sia possibile non effettuare la verifica (insieme ad altre condizioni);
- il valore del coefficiente MSF (Magnitude Scale Factor) che corregge il valore del rapporto fra CRR e CSR per determinare il valore attuale del fattore di sicurezza.

La ragione per la quale la magnitudo entra in gioco è che, tanto più è elevata, tanto maggiore è l'energia rilasciata e, quindi, la capacità di generare cicli di deformazione del terreno di numero ed ampiezza tali da produrre sovrappressioni neutre e fenomeni di liquefazione.

La magnitudo è quindi una grandezza molto importante per la definizione della pericolosità e quindi dell'azione sismica (Galli et al., 1999), ma la stima della magnitudo attesa al sito presenta caratteri di incertezza e imprevedibilità evidenziati anche negli studi di pericolosità.

Un metodo semplice e in favore di sicurezza che può essere utilizzato per stimare quale sia il valore di magnitudo da considerare ai fini delle verifiche di liquefazione, per il sito o la microzona di interesse, viene indicato negli stessi ICMS (Gruppo di lavoro MS, 2008). Secondo tale metodo, per i siti che cadono in una delle 36 zone sismogenetiche della la zonazione sismogenetica nazionale - ZS9 (Meletti e Valensise, 2004), si assume come M il valore di $M_{w_{max}}$ della zona relativa.

Nel caso del comune di Anzola dell'Emilia, che ricade in parte entro le Zona 912 e in parte entro la Zona 913 (paragrafo 2.3), il valore di $M_{w_{max}}$ è 6.14, valore che può essere quindi utilizzato per le verifiche di liquefazione con le procedure che nell'ingegneria geotecnica sismica vengono denominate "metodi semplificati".

Sulla base delle attuali conoscenze relative alle sorgenti sismogenetiche che interessano l'area di studio e riportate nel paragrafo 2.3, si ritiene che tale valore cautelativo di magnitudo (**Mw=6.14**) possa essere opportunamente adottato al fine di tenere conto del livello di incertezza proprio sulla magnitudo massima possibile per l'area di studio.

7.2.2 Calcolo dell'accelerazione al suolo

Per la determinazione del valore di accelerazione su suolo rigido di riferimento sono disponibili le mappe di pericolosità sismica realizzate per la Convenzione INGV-DPC 2004 - 2006 (progetto S1). Nell'ambito del progetto è stata calcolata una "pericolosità di base" fondata su un reticolo di punti di riferimento, costruito per l'intero territorio nazionale. Ai punti del reticolo sono attribuiti, per nove differenti periodi di ritorno del terremoto atteso, i valori di a_g (accelerazione orizzontale massima del suolo, come definita dall'OPCM 3519/2006, corrispondente a quella che in ambito internazionale viene chiamata PGA) e dei principali "parametri spettrali" riferiti all'accelerazione orizzontale, da utilizzare per il calcolo dell'azione sismica (fattore di amplificazione massima f_0 e periodo di inizio del tratto a velocità costante T^*c). Il reticolo di riferimento ed i dati di pericolosità sismica vengono forniti dall'INGV e sono pubblicati nel sito <http://esse1.mi.ingv.it/> (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, 2004).

In questo contesto nazionale la Regione Emilia-Romagna ha elaborato ed approvato, con la DAL n.112/2007 (Regione Emilia-Romagna, 2007), gli "indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica", in coerenza con la L.R. n.20/2000 "Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio".

Gli Indirizzi sono stati elaborati sulla scorta degli esiti delle specifiche indagini sismiche che la Regione Emilia-Romagna ha effettuato nel territorio regionale. In questo senso, la delibera fornisce abachi e formule propedeutiche alla valutazione preliminare dell'amplificazione locale, dati che tengono conto delle caratteristiche sismiche riscontrate nel contesto regionale. Il documento fornisce anche i dati fondamentali per valutazioni più accurate della risposta sismica:

- lo spettro di risposta normalizzato per l'Emilia-Romagna (per $T_r = 475$ anni e smorzamento del 5%);
- i valori di a_{gref} di ogni Comune ed i segnali di riferimento (accelerogrammi), anch'essi già scalati per ogni singolo Comune.

Per il comune di Anzola dell'Emilia il valore di a_{gref} è pari a 0.163 (l'unità di misura è g, vale a dire l'accelerazione di gravità, corrispondente a 9.8 m/s^2).

Per ottenere il valore di $a_{gmax s}$ (picco di accelerazione alla superficie dei depositi) su ogni sito analizzato, si deve moltiplicare a_{gref} per il valore di FA_{PGA} indicato per l'area in esame nella carta di microzonazione sismica di secondo livello (tavole 6.1 e 6.2).

Nel caso dell'area comunale di Anzola dell'Emilia avremo un unico possibile valore di $a_{gmax s}$ pari a **0.24g** (0.163×1.5). Tale valore può essere quindi utilizzato in input per le verifiche con procedura semplificata su tutta l'area di studio.

7.2.3 Verifiche con i metodi semplificati

Come indicato nella DAL n. 112/2007 (Regione Emilia-Romagna, 2007), tra i metodi semplificati sono raccomandati quelli basati su prove CPT. Come noto, tali metodi, sono stati sviluppati sulla base di dati ottenuti attraverso indagini penetrometriche con punta elettrica. Recenti esperienze e raffronti diretti dimostrano come la loro applicazione a dati ottenuti da prove penetrometriche eseguite con punta meccanica portino a risultati a volte sensibilmente differenti e in genere ad una sottostima del rischio (Veronese, 2014). Per tale ragione si è scelto di eseguire, a supporto dello studio, prove penetrometriche con punta elettrica e piezocono (CPTU), su cui sono state eseguite le verifiche a liquefazione utilizzando il programma di calcolo "Cliq 1.7" della Geologismiki Geotechnical Software, sviluppato in collaborazione col Prof. Peter Robertson. L'algoritmo di calcolo utilizzato si basa sul metodo di Robertson e Wride (Robertson e Wride, 1998).

I parametri di input scelti sono:

- **M_w = 6.14** (come definito nel paragrafo 7.2.1)
- **a_g = 0.24** (come definito nel paragrafo 7.2.2).

Come livello della falda, parametro che condiziona sensibilmente i risultati di questo tipo di verifiche, è stato cautelativamente assunto un valore di 1 metro dal piano campagna, pari al valore minimo riscontrato nell'area.

Al termine della procedura, per ogni verticale è stato valutato l'indice del potenziale di liquefazione IL (Iwasaki et al., 1982), riportato in tabella 7. I valori ottenuti sono stati associati a classi, secondo la classificazione proposta da Sonmez (Sonmez, 2003), che distingue tra siti a rischio di liquefazione basso ($0 < IL \leq 2$), medio ($2 < IL \leq 5$), elevato ($5 < IL \leq 15$) e molto elevato ($IL > 15$).

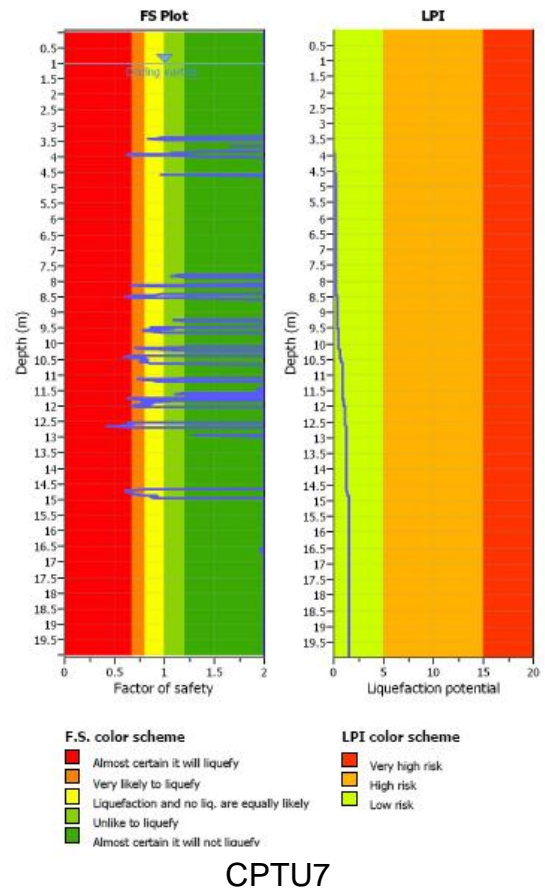
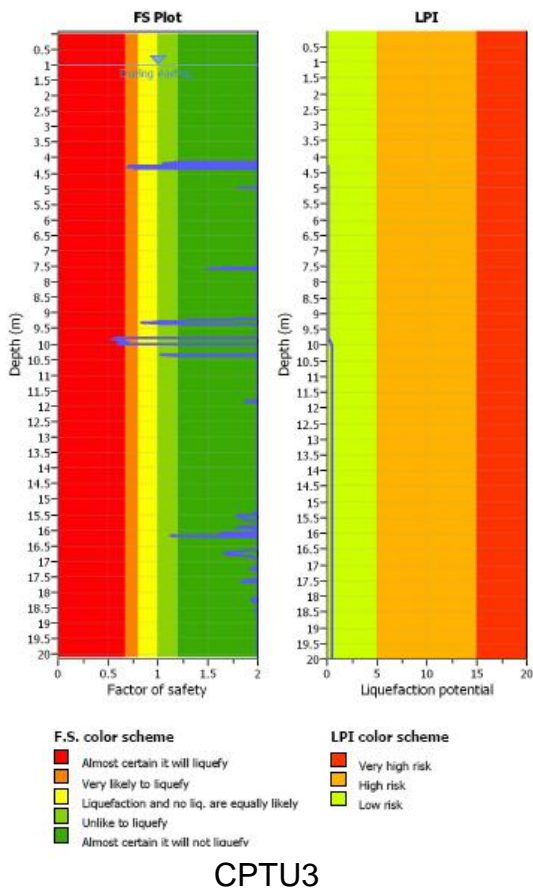
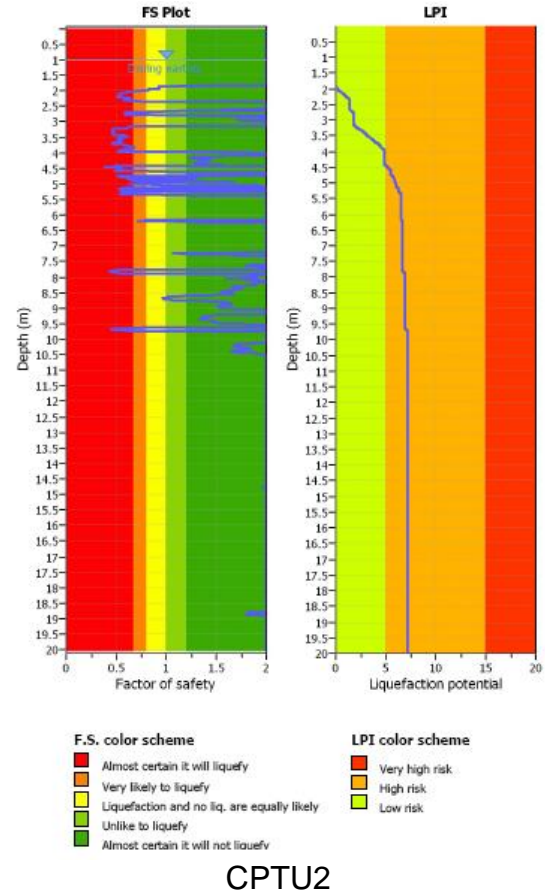
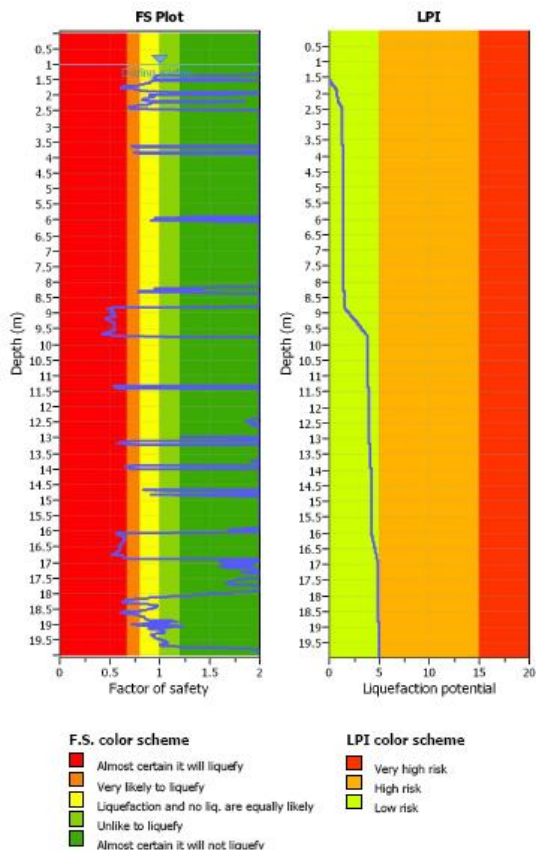
Verticale	IL	Classe di rischio
CPTU1	4.95	medio
CPTU2	7.24	alto
CPTU3	0.53	basso
CPTU4	0.14	basso

Verticale	IL	Classe di rischio
CPTU5	0.01	basso (nullo)
CPTU6	0.06	basso (nullo)
CPTU7	1.52	basso

Tabella 7. Indice del potenziale di liquefazione calcolato per ciascuna verticale di indagine.

In 5 delle verticali esplorate il rischio di liquefazione è risultato basso, ma mentre per 3 di queste il valore è poco più che nullo (CPTU4, CPTU5 e CPTU6) e per la CPTU3 è di solo 0.53, per la CPTU7 il valore risulta pari a 1.52, comunque non trascurabile. In una delle verticali (CPTU1) il rischio risulta medio, ma molto prossimo al limite del rischio elevato (4.95) e in un'altra (CPTU2) il rischio risulta elevato (7.24). Per le 4 verticali che hanno $IL > 0.5$ vengono di seguito proposti i grafici dell'andamento in profondità del fattore di sicurezza nei confronti della liquefazione e dell'indice IL.

MICROZONAZIONE SISMICA DEL COMUNE DI ANZOLA DELL'EMILIA



7.2.4 Considerazioni conclusive sul calcolo del potenziale di liquefazione

Le prove eseguite per il presente studio portano a stimare, attraverso i metodi semplificati, come variabile da basso (o nullo) a elevato il rischio liquefazione dei depositi sabbiosi in caso di sisma. Le 4 prove che hanno restituito indici del potenziale di liquefazione maggiori di 0.5 rientrano in aree in cui è indicata la possibile occorrenza di fenomeni di liquefazione (tavola 4). In particolare la CPTU1 e la CPTU2, quelle a rischio medio ed elevato, presentano spessori significativi di depositi potenzialmente liquefacibili nei primi metri, mentre la CPTU3 e la CPTU7, a rischio basso, presentano limitati orizzonti limo-sabbiosi.

Al di là di quanto emerso dai calcoli con i metodi speditivi eseguiti sulle nuove verticali di indagine, si è ritenuto di eseguire una prima stima del potenziale di liquefazione nelle aree che presentavano i maggiori spessori di terreni potenzialmente liquefacibili.

Per il presente studio di microzonazione sono state consultate circa 100 relazioni geologiche eseguite dal 2000 ad oggi presenti nell'archivio comunale. Dalla loro analisi è emerso che nelle verifiche alla liquefazione, quando eseguite, sono stati sempre utilizzati valori di magnitudo e di accelerazione assai meno cautelativi di quelli suggeriti dalle procedure indicate negli ICMS (Gruppo di lavoro MS, 2008).

Su ulteriori 16 verticali di prove penetrometriche con punta elettrica, per cui erano disponibili dati numerici dei valori di resistenza, è stata quindi eseguita una verifica con la metodologia di calcolo e con i parametri specificati al paragrafo 7.2.3. Gli indici del potenziale di liquefazione così calcolati hanno evidenziato un rischio da elevato a molto elevato per diverse aree oggetto di approfondimento. Pur rappresentando un dato significativo, si tratta in ogni caso di una stima preliminare e si rimanda ai necessari approfondimenti di terzo livello per la quantificazione del potenziale di liquefazione sulle singole aree.

7.3 Identificazione delle zone di attenzione per liquefazioni

La prima stima effettuata coi metodi speditivi appena descritta, associata a puntuali valutazioni litologiche e geomeccaniche delle stratigrafie di tutte le indagini disponibili, ha permesso di identificare le aree potenzialmente soggette a fenomeni di liquefazione (tavole 4, 6, 7 e 8). Per tale operazione si è partiti dalle indicazioni presenti nella tavola 2 della variante al PTCP in materia di rischio sismico (Provincia di Bologna, 2013), verificandone l'eventuale riscontro coi dati geognostici e soprattutto dalle aree con terreni di copertura "SM" indicati nella carta geologico-tecnica (tavola 2). Sono stati quindi distinti, nel contesto della modellazione geologica (capitolo 5), gli areali in cui, dai dati disponibili, risultano presenti spessori significativi di depositi sabbiosi e limo-sabbiosi. La carta MOPS (tavola 4), riporta, per le zone di interesse della microzonazione, l'estensione delle aree instabili in ragione della presenza di depositi potenzialmente liquefacibili ("Zone di attenzione per liquefazioni tipo 1", codice 3050). In ogni caso va evidenziato come all'interno delle aree instabili "potenzialmente liquefacibili" è stata riscontrata una certa variabilità nella distribuzione dei depositi granulari saturi anche su verticali di indagine

molto ravvicinate, per cui non è raro che a distanza di poche decine di metri si assista alla chiusura laterale di lenti sabbiose anche spesse (paragrafo 6.2). Tale dato indica la necessità per un geologo professionista di accertare sempre puntualmente la stratigrafia e evidenzia che può essere un esercizio molto pericoloso estendere delle valutazioni puntuali sulla liquefacibilità dei depositi granulari saturi ad un areale più o meno ampio.

Si segnala infine che il confronto tra le aree con depositi potenzialmente liquefacibili così ottenuta e quelle, di natura analoga, riportate nella “Carta di microzonazione sismica” del PSC associato (Franchi, 2008), ha evidenziato una corrispondenza solo parziale. Ciò può essere almeno in parte imputato sia al maggior numero e alla migliore qualità di dati geognostici oggi disponibili, sia al diverso livello di approfondimento dei due studi.

Per la descrizione del modello geologico delle diverse aree di interesse dello studio di microzonazione sismica e per le ragioni dell'identificazione delle diverse aree caratterizzate dalla presenza di depositi potenzialmente liquefacibili, si rimanda al capitolo 5.

8 ELABORATI CARTOGRAFICI

Le 8 tavole cartografiche (tabella 1) sono state realizzate secondo le specifiche indicate, per il primo e il secondo livello di approfondimento, nella Delibera n.1919/2013 (Regione Emilia-Romagna, 2013) della Giunta della Regione dell'Emilia-Romagna e risultano conformi alle linee guida emanate dal Dipartimento della Protezione Civile (Commissione tecnica per la microzonazione sismica, 2013).

L'estensione e la forma dell'area del comune di Anzola dell'Emilia hanno consentito di comprendere l'intero territorio comunale (ad eccezione di due piccole porzioni all'estremo nord e all'estremo sud, comunque non urbanizzate) alla scala 1:10.000 entro la dimensione massima di una singola tavola (A0) prevista dalle linee guida (Commissione tecnica per la microzonazione sismica, 2013). Le tavole 1, 3 e 5 sono quindi state redatte alla scala 1:10.000, consentendo una visione di insieme dei dati rappresentati per l'intero territorio. Le tavole 2, 4, 6, 7 e 8 sono state invece redatte alla scala 1:5.000 e interessano le sole aree oggetto della microzonazione sismica di dettaglio (paragrafo 1.2).

Per tutte le 8 carte realizzate, la base cartografica è costituita dalla Carta Tecnica Regionale in scala 1:5.000, messa a disposizione del presente studio dal Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna.

8.1 Carta delle indagini (tavola 1)

La carta delle indagini, realizzata alla scala 1:10.000, permette la visione di insieme delle localizzazioni delle prospezioni geologiche e geofisiche realizzate nel territorio comunale, raccolte e archiviate in formato digitale per il presente studio (in tutto 623), comprendendo sia quelle di nuova realizzazione (77), sia quelle di repertorio (546).

Tutte le indagini sono distinte con le simbologie definite negli standard di rappresentazione 2013 degli studi di microzonazione (Commissione tecnica per la microzonazione sismica, 2013). Per le sole indagini di nuova realizzazione, eccetto le misure di microtremore, sono indicati i codici univoci che le identificano, attraverso i quali è possibile risalire ai rapporti di prova riportati in allegato.

Per maggiori dettagli sulle indagini riportate in carta, relativi alla provenienza, alla tipologia e alla qualità dei dati, si rimanda al capitolo 4.

8.2 Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica (tavola 2)

La carta geologico-tecnica, è un elaborato differente da una classica carta geologica o litologica, in quanto è finalizzata alla definizione del modello di sottosuolo utile per uno studio di microzonazione sismica. Si tratta quindi sostanzialmente di una carta della litologia superficiale, che considera indicativamente i primi 5 metri dal piano di campagna, ma che comunque valuta con attenzione, attribuendogli un peso maggiore, l'eventuale presenza di orizzonti di sabbie e/o limi estesi con una certa continuità, che possano essere potenzialmente soggetti al fenomeno della liquefazione in occasione di un sisma.

Nei paragrafi seguenti vengono descritti i principali elementi rappresentati nella carta geologico-tecnica, così come previsto dagli standard di rappresentazione (Commissione tecnica per la microzonazione sismica, 2013).

8.2.1 Terreni di copertura

Relativamente alle unità geologico-litotecniche previste dalle linee guida (Commissione tecnica per la microzonazione sismica, 2013) per la carta geologico-tecnica, nel comune di Anzola dell'Emilia sono presenti i soli “terreni di copertura”, mentre non si rinvenivano unità affioranti ascrivibili a “substrato geologico rigido o non rigido”. Secondo i criteri dettagliati al capitolo 5 per la definizione del modello geologico dell'area sono state distinte, all'interno dei “terreni di copertura”, due differenti unità, ognuna associabile (come litologia, sigla in maiuscolo e colore in carta) ad una delle classi predefinite delle linee guida. Viene inoltre indicato con la sigla in minuscolo il codice relativo agli ambienti deposizionali dei terreni di copertura definiti sempre nelle linee guida. Sono quindi distinte le seguenti unità:

SMes: *Sabbie limose e limi sabbiosi*

Ambiente genetico-deposizionale: argine e canale fluviale (fluvio-lacustre)

Rientrano in questa classe le aree prossime ai torrenti Samoggia e Lavino caratterizzate dalla prevalenza, nei primi metri, di sabbie limose e limi sabbiosi di argine e canale fluviale ad addensamento in genere basso, alternate a livelli limo-argillosi.

MLpi: *Limi argillosi*

Ambiente genetico-deposizionale: piana inondabile (fluvio-lacustre)

Rientra in questa classe un'ampia porzione di territorio in cui sono presenti, nei primi metri, limi argillosi e argille limose a consistenza media con locali livelli di limi sabbiosi.

8.2.2 Elementi geologici

Sono riportati in carta i sondaggi, sia quelli che non hanno raggiunto il substrato, sia quelli che lo hanno raggiunto, e le tracce delle sezioni geologiche allegate allo studio di microzonazione.

Tracce di sezione geologica: Vengono riportate le tracce delle 4 sezioni geologiche riportate nell'allegato 1 alla presente relazione. L'orientamento delle sezioni, la cui traccia è riportata in carta, è sia trasversale (13, 44) che longitudinale (31, 50) rispetto al margine appenninico. Tali sezioni sono state realizzate dal Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna, di cui si è mantenuta la codifica numerica, e descrivono, con un discreto dettaglio litologico, le prime decine di metri di profondità, spingendosi a caratterizzare, via via con risoluzione inferiore, i primi 300-400 metri dal piano campagna.

Sondaggi: Sono riportati in carta tutti i sondaggi, a carotaggio continuo e a distruzione di nucleo e i pozzi per acqua raccolti e archiviati nella banca dati: con l'indicazione della profondità raggiunta, per quelli che non raggiungono il substrato e con l'indicazione della profondità del substrato, per i 9 che lo raggiungono. La profondità del substrato indicata, che non è rappresentata da un bedrock rigido, ma da un contrasto di impedenza tra unità diverse (paragrafo 6.1), è dedotta dalle sezioni geologiche (allegato 1), sopra descritte, e

dal dato della profondità della base dell'acquifero A2 fornito dal Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna.

Relativamente ad altri tematismi previsti dalle linee guida per la carta geologico-tecnica, si specifica che non sono presenti "forme di superficie e sepolte", né elementi tettonico-strutturali superficiali noti, ma solo alcuni sovrascorrimenti profondi indicati nella carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna in scala 1:250.000 (Boccaletti et al., 2004) che non si è ritenuto utile, ai fini dello studio di microzonazione, riportare in carta.

8.3 Carta delle frequenze naturali dei terreni (tavola 3)

La carta delle frequenze naturali dei terreni, realizzata alla scala 1:10.000, riporta la suddivisione del territorio comunale in aree per classi di frequenza, secondo quanto richiesto dalla Delibera n.1919/2013 (Regione Emilia-Romagna, 2013): $f_0 \leq 1$ Hz, $1 < f_0 \leq 2$ Hz, $2 < f_0 \leq 8$ Hz, $f_0 > 8$ Hz. In realtà in carta è rappresentata un'unica classe di frequenza per tutto il territorio comunale, poiché tutte le misure hanno restituito $f_0 \leq 1$. Sono inoltre riportati i punti di misura, con l'indicazione del valore della frequenza di risonanza fondamentale (f_0) registrata. Poiché non sono mai state registrate ampiezze di picco H/V maggiori di 2,5 tali punti di misura non sono stati tematizzati con colori per valore di ampiezza massima del picco. I dati acquisiti attraverso l'estesa campagna di misure di microtremore realizzata a supporto del presente studio (paragrafo 4.2.4), correlati coi dati geognostici disponibili (Castellaro et al., 2005), hanno permesso di definire la profondità del tetto di quello che può essere definito il substrato rigido (paragrafo 6.1) e di individuare quindi le caratteristiche stratigrafiche del sottosuolo importanti dal punto di vista dell'influenza sul moto sismico in superficie, per la definizione dei fattori di amplificazione (paragrafo 7.1).

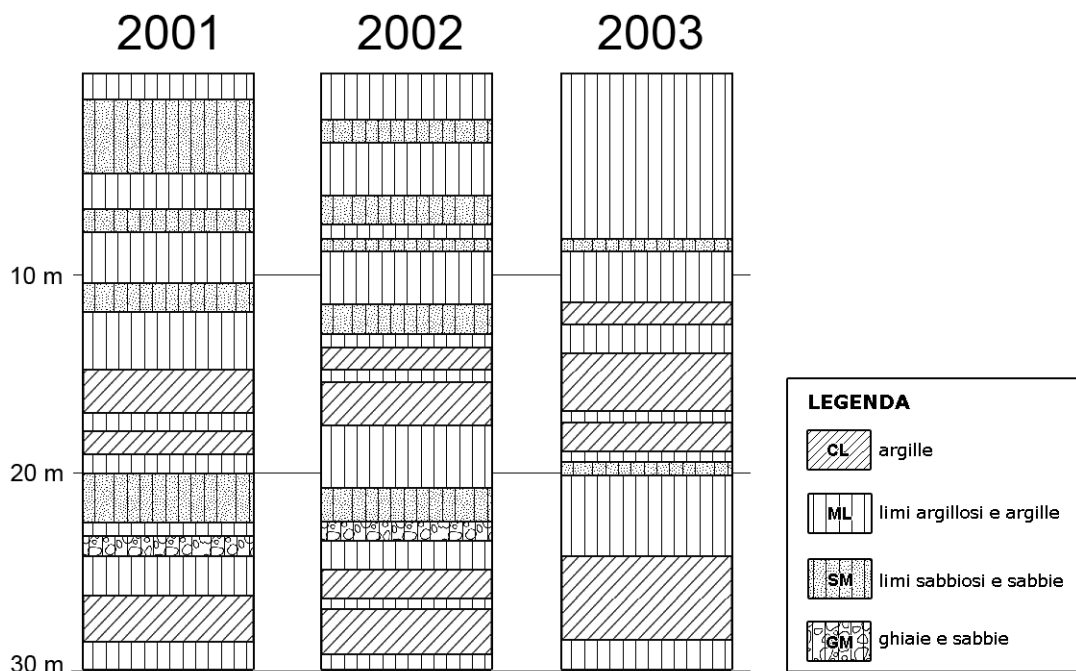
8.4 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (tavola 4)

La carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS), secondo quanto richiesto dalla Delibera n.1919/2013 (Regione Emilia-Romagna, 2013), presenta la suddivisione del territorio comunale in zone suscettibili di instabilità e zone suscettibili di amplificazioni locali (tavola 4, paragrafo 8.4). Tale carta rappresenta l'elaborato fondamentale della microzonazione sismica di primo livello.

Le zone suscettibili di instabilità (per cui sono richiesti approfondimenti di terzo livello) presenti all'interno del comune di Anzola dell'Emilia, sono le aree potenzialmente soggette a fenomeni di liquefazione (codice 3050), identificate sulla base dei criteri descritti al paragrafo 7.3 e definite come "Zone di attenzione per liquefazioni tipo 1".

Le zone suscettibili di amplificazioni locali sono distinte, sulla base delle caratteristiche della successione litostratigrafica, in 3 classi (codici 2001, 2002 e 2003) ordinate secondo una generale diminuzione della granulometria media dei depositi. Per le tre classi individuate vengono di seguito riportati gli schemi dei rapporti litostratigrafici più significativi, così come richiesto dalle linee guida (Commissione tecnica per la microzonazione sismica, 2013).

MICROZONAZIONE SISMICA DEL COMUNE DI ANZOLA DELL'EMILIA



2001: Terreni di copertura costituiti prevalentemente, nei primi metri, da limi sabbiosi e sabbie, seguiti da depositi in prevalenza limo-argillosi a consistenza media, alternati a livelli limo-sabbiosi. Con l'aumento della profondità si riscontra un aumento della frazione argillosa che diviene in genere prevalente oltre i 10 metri. Oltre i 20 metri si rinvengono localmente sottili orizzonti ghiaioso-sabbiosi ad addensamento medio.

Queste aree sono quelle caratterizzate dalla presenza di depositi superficiali di natura granulare attribuibili ai torrenti Lavino e Samoggia e rientrano nelle "Zone di attenzione per liquefazione" risultando, in genere, quelle a rischio più elevato.

2002: Terreni di copertura costituiti da depositi in prevalenza limo-argillosi a consistenza media, alternati a livelli limo-sabbiosi di spessore variabile. Con l'aumento della profondità si riscontra un aumento della frazione argillosa che diviene in genere prevalente oltre i 10 metri. Oltre i 20 metri si rinvengono localmente sottili orizzonti ghiaioso-sabbiosi ad addensamento medio.

Queste aree sono quelle caratterizzate dalla presenza di livelli di natura limo-sabbiosa attribuibili a rii e corsi d'acqua minori e rientrano nelle "Zone di attenzione per liquefazione" risultando però, in genere, quelle a rischio meno elevato.

2003: Terreni di copertura costituiti da depositi in prevalenza limo-argillosi a consistenza media. Con l'aumento della profondità si riscontra un aumento della frazione argillosa che diviene in genere prevalente oltre i 10 metri. Oltre i 20 metri si rinvengono localmente sottili orizzonti ghiaioso-sabbiosi ad addensamento medio.

Queste aree sono quelle caratterizzate dalla sostanziale assenza di livelli di natura limo-sabbiosa e non rientrano nelle "Zone di attenzione per liquefazione".

8.5 Carta delle velocità delle onde di taglio S (tavola 5)

Nella carta della velocità delle onde di taglio, realizzata alla scala 1:10.000, secondo quanto richiesto dalla Delibera n.1919/2013 (Regione Emilia-Romagna, 2013), sono riportati tutti i punti di misura di V_s (15), di archivio (8) e di nuova realizzazione (7) con indicazione del valore di V_{s30} .

I dati di velocità riportati in questa cartografia, opportunamente correlati con altri dati geognostici e geofisici, hanno permesso di attribuire l'intero territorio comunale ad una unica classe di V_s (200 m/s) (paragrafo 6.3) dato necessario per l'utilizzo degli abachi dell'Allegato A2 degli indirizzi regionali (Regione Emilia-Romagna, 2007). Questo dato, associato a quello della profondità del bedrock (o pseudo-bedrock) sismico, ha permesso di ricavare i fattori di amplificazione (paragrafo 7.1).

8.6 Carte di microzonazione sismica di secondo livello (tavole 6, 7 e 8)

Le 6 carte di microzonazione sismica di livello 2, realizzate alla scala 1:5.000, secondo quanto richiesto dalla Delibera n.1919/2013 (Regione Emilia-Romagna, 2013), identificano le zone suscettibili di instabilità e le zone suscettibili di amplificazioni locali e rappresentano gli elaborati finali di sintesi dello studio.

Queste cartografie sono state realizzate solamente per le aree oggetto dello studio di microzonazione sismica (aree urbanizzate, suscettibili di trasformazioni urbanistiche e fasce a cavallo delle reti infrastrutturali) ad una scala di dettaglio e aggiungono, alle zone suscettibili di amplificazioni locali, la quantificazione dei tre fattori di amplificazione previsti dagli indirizzi regionali (Regione Emilia-Romagna, 2007): F_{APGA} , $F_{A0,1-0,5s}$, $F_{A0,5-1s}$, attraverso la suddivisione del territorio analizzato sulla base di classi predefinite, contraddistinte da colori differenti. Nel caso in esame, tutti gli ambiti di studio sono caratterizzati dagli stessi fattori di amplificazione (paragrafo 7.1)

Per quanto concerne invece le zone suscettibili di instabilità, le aree individuate e cartografate corrispondono a quelle della carta MOPS di primo livello (paragrafo 8.4 e tavola 4).

9 COMMENTI FINALI E CRITICITÀ

Il presente studio di microzonazione sismica di secondo livello ha permesso di determinare, per il territorio del comune di Anzola dell'Emilia, l'amplificazione attesa (tavole 6, 7 e 8) e di individuare le zone in cui sono presenti spessori di terreni potenzialmente liquefacibili in caso di sisma, per cui sono richiesti approfondimenti di terzo livello. Tale aspetto rappresenta la principale criticità individuata per l'area di studio.

Per il presente studio di microzonazione sono state consultate circa 100 relazioni geologiche eseguite dal 2000 ad oggi, presenti nell'archivio comunale. Dalla loro analisi è emerso che le verifiche alla liquefazione, quando eseguite, sono sempre state condotte solo sulla base dei risultati delle prove penetrometriche statiche, quasi sempre con punta meccanica, che oggi sappiamo essere meno affidabili per questo tipo di valutazioni (Veronese, 2014), anche in aree in cui sono presenti spessori significativi di terreni granulari saturi. Inoltre i valori di magnitudo e di accelerazione utilizzati per tali verifiche sono in genere assai meno cautelativi di quelli suggeriti dalle procedure indicate negli ICMS (Gruppo di lavoro MS, 2008). Utilizzando questi ultimi valori, così come indicato al paragrafo 7.2, gli indici del potenziale di liquefazione stimati coi metodi semplificati da prove CPTU evidenziano un rischio elevato per alcune delle aree studiate. Purtroppo le prove CPTU realizzate nell'area di studio sono in numero limitato e lo studio di secondo livello può solo arrivare a perimetrare le aree potenzialmente liquefacibili non arrivando a quantificare il rischio nelle diverse zone indagate. In questa fase è possibile soltanto indicare che, entro le "Zone di attenzione per liquefazione", le zone MOPS "2001" (entro cui ricadono buona parte del Capoluogo e della frazione di Ponte Samoggia) dovrebbero essere caratterizzate da un rischio mediamente maggiore rispetto alle zone MOPS "2002" (paragrafo 8.4).

Si rendono pertanto necessari, per un esteso areale del territorio studiato, ulteriori approfondimenti di terzo livello volti ad accertare l'effettivo potenziale di liquefazione dei depositi, attraverso l'esecuzione di un buon numero di prove penetrometriche statiche con punta elettrica. Disponendo di diverse verticali su cui calcolare affidabili valori dell'indice di liquefazione sarà pertanto possibile suddividere quelle porzioni di territorio oggi identificate come "Zone di attenzione per liquefazioni", in aree rischio maggiore e minore secondo quanto previsto dagli standard più recenti (Commissione tecnica per la microzonazione sismica, 2013), quantificandone il potenziale di liquefazione. Tale indicazione risulterà utile per orientare le scelte di pianificazione verso le aree a rischio minore.

Gli approfondimenti di terzo livello dovranno inoltre essere volti a verificare la reale estensione delle aree caratterizzate dalla presenza di depositi liquefacibili in tutte quelle aree, compresa in particolare buona parte del Capoluogo (paragrafo 5.1), in cui la distribuzione e la qualità dei dati geognostici oggi disponibili non risulta sufficiente per una caratterizzazione di dettaglio e ha suggerito, in questa fase, delle scelte cautelative.

In ogni caso nelle diverse fasi di pianificazione e in quelle esecutive, il calcolo dell'indice del potenziale di liquefazione (IL) dovrà essere eseguito riferendosi alle procedure (metodi semplificati da prove penetrometriche statiche con punta elettrica spinte ad almeno 20

metri di profondità) e ai parametri di input (magnitudo attesa in particolare) utilizzati per lo studio di microzonazione. Scelte meno cautelative dovranno essere adeguatamente motivate dai tecnici incaricati delle verifiche. A tal fine dovrà essere realizzato anche un approfondimento relativamente al contesto idrogeologico locale (indicazione delle soggiacenze minime).

Alla luce di questo, si rende necessaria l'esecuzione anche di indagini di tipo differente e di approfondimenti specifici nelle aree ritenute a rischio maggiore, sia sulla base delle litologie individuate dalle prove penetrometriche (pericolosità), sia in relazione all'entità degli interventi edilizi previsti dagli strumenti urbanistici comunali (esposizione). In particolare si ritiene indispensabile affrontare ulteriori verifiche quantitative che accertino l'effettiva suscettibilità alla liquefazione dei depositi granulari, con prove che consentano il prelievo di campioni, rappresentativi degli orizzonti presenti a profondità inferiore ai 20 metri, da sottoporre ad analisi granulometriche. I risultati potranno essere riferiti ai grafici delle fasce granulometriche per la valutazione preliminare della suscettibilità alla liquefazione, come indicato nell'allegato A3 degli indirizzi regionali (Regione Emilia-Romagna, 2007). Qualora si rinverano spessori significativi di depositi i cui campioni rientrano nelle fasce di possibile liquefazione, dovranno essere prelevati ulteriori campioni da sottoporre a prove dinamiche di laboratorio, anche allo scopo di quantificarne i possibili cedimenti.

Occorre infine ricordare che prove anche molto raffinate di liquefacibilità, risultano rappresentative soltanto di volumi di terreno modesti, in particolare nell'area di studio in cui gli orizzonti sabbiosi hanno geometria lenticolare e sono arealmente discontinui (paragrafo 7.3); pertanto risulta pericoloso estendere delle valutazioni puntuali sulla liquefacibilità ad un areale più o meno esteso. In fase di piano urbanistico attuativo (PUA) e di progettazione degli interventi si dovrà tener conto di tale aspetto prevedendo sempre una adeguata campagna di indagini, sia come tipologia che come numero, anche in funzione della rilevanza delle opere.

10 BIBLIOGRAFIA

- AA.VV. (2011) - *Contributi per l'aggiornamento degli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica"*, Supplemento alla rivista Ingegneria sismica Anno XXVIII, no. 2.
- Albarelo C. e Castellaro S. (2011) - *Tecniche sismiche passive: indagini a stazione singola*. In AA.VV. (2011) - *Contributi per l'aggiornamento degli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica"*, Supplemento alla rivista Ingegneria Sismica Anno XXVIII, no. 2.
- Amorosi A., Colalongo M.L., Pasini G. e Preti D. (1999) - *Sedimentary response to Late Quaternary sea-level changes in the Romagna coastal plain (northern Italy)*, *Sedimentology*, no. 46, pp. 99-121.
- Arpa Ingegneria Ambientale (2007) - *Rilievo della subsidenza nella pianura emiliano-romagnola. Analisi interferometrica*.
- Arpa Ingegneria Ambientale (2013) - *Rilievo della subsidenza nella pianura emiliano-romagnola 2011-2012*.
- Basili R., Valensise G., Vannoli P., Burrato P., Fracassi U., Mariano S., Tiberti M.M. e Boschi E. (2008) - *The Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), version 3: summarizing 20 years of research on Italy's earthquake geology*, *Tectonophysics*.
- Boccaletti M., Bonini M., Corti G., Gasperini P., Martelli L., Piccardi L., Severi P. e Vannucci G. (2004) - *Carta sismotettonica della regione Emilia-Romagna*.
- Boschi E. e Guidoboni E. (2003) - *I terremoti a Bologna e nel suo territorio dal XII al XX secolo*.
- Castellaro S. (2012) - H/V: un contributo oltre Vs30, in Mucciarelli M. (ed.) *Tecniche speditive per la stima dell'amplificazione sismica e della dinamica degli edifici*.
- Castellaro S. e Mulargia F. (2007) - *Stime di vS30 a stazione singola tramite misure HVSR vincolate.*, GNGTS, Roma.
- Castellaro S. e Mulargia F. (2009a) - *Vs30 estimates using con-strained H/V measurements*. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, no. 99, pp. 761-773.
- Castellaro S. e Mulargia F. (2011) - *Seismic soil classification from a different perspective*. *Annual meeting of the Seismological Society of America, Memphis (Tennessee, USA), Apr. 13-15*.
- Castellaro S., Mulargia F. e Bianconi L. (2005) - *Passive Seismic Stratigraphy: A new efficient, fast and economic technique*, *Geologia e tecnica ambientale*, vol. 3.
- Castello B., Selvaggi G., Chiarabba C. e Amato A. (2006) - *CSI Catalogo della sismicità italiana 1981-2002 versione 1.1*, INGV-CNT, Roma, [Online], Available: <http://csi.rm.ingv.it/>.
- Commissione tecnica per la microzonazione sismica (2013) - *Microzonazione sismica - Standard di rappresentazione e archiviazione informatica versione 3.0*, [Online], Available: http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/Standard_MSv2pdf3.pdf.
- Crespellani T., Nardi R. e Simoncini C. (1991) - *La liquefazione del terreno in condizioni sismiche*, Bologna: Zanichelli.
- DISS Working Group (2010) - *Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.1.1: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas*, [Online], Available: <http://diss.rm.ingv.it/diss/>.
- Dondi L. e D'Andrea M.G. (1986) - *La Pianura Padana e Veneta dall'Oligocene superiore al Pleistocene*, *Giornale di Geologia*, ser3°, no. 48/1-2, pp. 197-225.
- Dondi L., Mostardini F. e Rizzini A. (1982) - *Evoluzione sedimentaria e paleogeografica nella Pianura Padana.*, in Cremonini G. e Ricci Lucchi F. (ed.) *Guida alla geologia del margine appenninico padano*. *Guida Geol. Reg., S. G. I.*
- Franchi V. (2008) - *Relazione geologica del quadro conoscitivo per il PSC associato "Terre d'acqua"*.

MICROZONAZIONE SISMICA DEL COMUNE DI ANZOLA DELL'EMILIA

- Galli P., Castenetto S. e Peronace E. (2012a) - *Terremoti dell'Emilia - Maggio 2012. Rilievo macrosismico MCS speditivo. Rapporto finale. 15 giugno 2012.*, [Online], Available: <http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/TerremotoEmiliaMCS.pdf>.
- Galli P., Castenetto S. e Peronace E. (2012b) - *The MCS macroseismic survey of the Emilia 2012 earthquakes.*, Annals of Geophysics, vol. 55, no. 4.
- Galli P., Meloni F. e Rossi A. (1999) - *Historical liquefaction in Italy: relationship between epicentral distance and seismic parameters.*, European Geophysical Society XXVIII General Assembly Natural Hazards NH3, The Hague, Netherlands.
- Gruppo di lavoro MS (2008) - *Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica. Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome - Dipartimento della Protezione Civile, Roma, 3 vol. e Dvd.*, [Online], Available: http://www.protezionecivile.it/cms/view.php?dir_pk=395&cms_pk=15833.
- Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Comastri A., Tarabusi G., Valensise G. e INGV-SGA (2007) - *CFTI4Med, Catalogue of Strong Earthquakes in Italy (461 B.C.-1997) and Mediterranean Area (760 B.C.-1500).*, [Online], Available: <http://storing.ingv.it/cfti4med/>.
- ISIDe Working Group (2010) - *Italian Seismological Instrumental and parametric database*, [Online], Available: <http://iside.rm.ingv.it>.
- Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (2004) - *I dati online della pericolosità sismica in Italia*, [Online], Available: <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>.
- Iwasaki T., Tokida K., Tatsuoka F., Watanabe S., Yasuda S. e Sato H. (1982) - *Microzonation for Soil Liquefaction Potential Using Simplified Methods*, Proc., 3rd Int. Conf. on Microzonation, Seattle, 1319-1330.
- Locati M., Camassi R. e Stucchi M. (2011) - *DBMI11, la versione 2011 del Database Macrosismico Italiano. Milano, Bologna.*, [Online], Available: <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11 DOI: 10.6092/INGV.IT-DBMI11>.
- Martelli L., Benini A. e De Nardo M.T. (ed.) (2009) - *Progetto CARG, Carta geologica d'Italia e note illustrative, Foglio 220.*
- Meletti C. e Valensise G. (ed.) (2004) - *Zonazione sismogenetica ZS9- App.2 al Rapporto conclusivo. Gruppo di lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica (Ordinanza PCM 3274/2003), Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.*
- Mucciarelli M. (ed.) (2012) - *Tecniche speditive per la stima dell'amplificazione sismica e della dinamica degli edifici.*
- Ori G.G. (1993) - *Continental depositional systems of the Quaternary of the Po Plain (northern Italy)*, Sedimentary Geology, no. 83, pp. 1-14.
- Pieri M. (1984) - *Storia delle ricerche nel sottosuolo padano fino alle ricostruzioni attuali*, in *Cento anni di geologia italiana. Vol. giub. I Centenario della S.G.I.*, Bologna.
- Pieri M. e Groppi G. (1981) - *Subsurface geological structure of the Po Plain (Italy). Progetto Finalizzato Geodinamica, publ.n° 414, C.N.R., 23.*
- Provincia di Bologna (2013) - *Variante al PTCP in materia di rischio sismico, Bologna.*
- Regione Emilia-Romagna (2007) - *Delibera Assemblea Legislativa n. 112/2007 - Approvazione dell'atto di indirizzo e coordinamento tecnico in merito a "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale ed urbanistica".*
- Regione Emilia-Romagna (2013) - *Delibera Giunta Regionale n.1919/2013 - Approvazione dei criteri per gli studi di microzonazione sismica ed assegnazione dei contributi di cui all'ordinanza del Capo Dipartimento della Protezione Civile 52/13.*
- Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico Sismico e dei Suoli, ENI - AGIP (1998) - *Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna, scala 1:250.000, Bologna.*

MICROZONAZIONE SISMICA DEL COMUNE DI ANZOLA DELL'EMILIA

- Ricci Lucchi F., Colalongo M.L., Cremonini G., Gasperi G., Iaccarino S., Papani G., Raffi I. e Rio D. (1982) - Evoluzione sedimentaria e paleogeografia del margine appenninico, in Cremonini G. e Ricci Lucchi F. (ed.) *Guida alla geologia del margine appenninico-padano. Guide Geologiche Regionali, Soc. Geol. Ital.*.
- Robertson P.K. (1990) - *Soil classification using the cone penetration test*, Canadian Geotechnical Journal, vol. 27, no. 1, pp. 151-158.
- Robertson P.K. e Wride C.E. (1998) - *Evaluating Cyclic Liquefaction Potential using the CPT*, Canadian Geotechnical Journal, vol. 35, no. 3.
- Rovida A., Camassi R., Gasperini P. e Stucchi M. (2011) - *CPTI11, la versione 2011 del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani. Milano, Bologna*, [Online], Available: <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI>.
- Sangiorgi S. (2013) - *Piano Strutturale dei Comuni dell'Area Bazzanese – Relazione geologica e microzonazione sismica del comune di Crespellano*.
- Sonmez H. (2003) - *Modification to the liquefaction potential index and liquefaction susceptibility mapping for a liquefaction-prone area (Inegol-Turkey)*, Environ. Geology, vol. 44, no. 7, pp. 862-871.
- Stucchi M., Camassi R., Rovida A., Locati M., Ercolani E., Meletti C., Migliavacca P., Bernardini F. e Azzaro R. (2007) - *DBMI04, il database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPTI04*, Quaderni di Geofisica, vol. 49, no. 38.
- Veronese T. (2014) - *Esperienze nei territori colpiti dal sisma dell'Emilia (maggio 2012)- casi di studio*, Il Geologo dell'Emilia-Romagna, no. 50.
- Vittori E. e Ventura G. (1995) - *Grain size of fluvial deposits and late Quaternary climate: A case study in the Po River valley (Italy)*, Geology, vol. 23, no. 8, pp. 735-738.
- Zoetemeijer R. (1993) - *Tectonic Modelling of Foreland Basins, thin skinned thrusting, syntectonic sedimentation and lithospheric flexure. PhD Thesis, Vrije Universiteit, Amsterdam*.